



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

### TRABAJO FINAL DE GRADO

---

# **La cámara fotográfica y la cámara móvil. Comparación de características y prestaciones. Análisis de parámetros de calidad.**

**YULIA ANANENKO ANANENKO**

**DIRECTOR: Jaume Escofet i Soteras**

**Departamento de óptica i optometría FOOT-UPC**

**3 de junio de 2016**



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

El Sr. **Jaume Escofet i Soteras**, como director del trabajo

CERTIFICA

Que la Sra. **Yulia Ananenko Ananenko** ha realizado bajo su supervisión el trabajo **“La cámara fotográfica y cámara móvil. Comparación de características y prestaciones. Análisis de parámetros de calidad”** que se recoge en esta memoria para optar al título de grado en Óptica i Optometría.

Y para que conste, firmo este certificado.

Sr. Jaume Escofet i Soteras  
Director/a del trabajo

Terrassa, 3 de junio de 2016



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

# La cámara fotográfica y la cámara del móvil. Comparación de características y prestaciones. Análisis de parámetros de calidad.

### RESUMEN

Cada día es mayor la tendencia a usar la cámara de un Smartphone como la herramienta principal a la hora de hacer fotografías. Esa tendencia viene dada, entre otros motivos, por la calidad fotográfica y de video que ofrecen algunos terminales de gama alta. Por otro lado, las prestaciones fotográficas y de video de la mayoría de teléfonos móviles ofrecen una calidad aceptable como para plantearse prescindir de dispositivos más voluminosos y complicados de usar que ofrecen funcionalidades más específicas.

Este estudio analiza las semejanzas y diferencias entre un teléfono móvil y una cámara réflex a partir de parámetros cuantitativos y cualitativos extraídos a través de las especificaciones de sus respectivos fabricantes y del análisis cualitativo y cuantitativo de sus imágenes. Se valoran las partes que forman las dos cámaras, como el objetivo y sus óptica, el sensor, el exposímetro, el mecanismo de enfoque y etc. También, se determinan y se evalúan características específicas tales como el campo angular, el factor de recorte, la profundidad de campo, el balance de blancos, la sensibilidad del sensor etc... Finalmente, como parte experimental del trabajo se han realizado medidas de calidad de la imagen, en concreto medidas de la relación señal ruido y de modulación al contraste.

En la parte final del trabajo se concluye que si bien la cámara Smartphone es más versátil, manejable y compacta, calidad de imagen obtenida con esta cámara, a día de hoy, es menor que la de la cámara réflex.



## GRAU EN ÒPTICA Y OPTOMETRÍA

# La càmera fotogràfica i la càmera del mòbil. Comparació de característiques i prestacions. Anàlisi de paràmetres de qualitat.

### RESUM

Cada dia és augmenta més la tendència a utilitzar la càmera d'un Smartphone com a eina principal a l'hora de fer fotografies. Aquesta tendència ve donada, entre d'altres motius, per la qualitat fotogràfica i de video que ofereixen alguns terminal de gamma alta. Per un altre banda, les prestacions fotogràfiques i de video de la majoria de telèfons mòbils ofereixen una qualitat acceptable com per plantejarse prescindir de dispositius més voluminosos i complicats d'us encara que ofereixin funcionalitats més específiques.

Aquest estudi analitza les semblances i diferències entre un telèfon mòbil i una càmera reflex a partir de paràmetres quantitatius i qualitius extrets a través de les especificacions dels seus respectius fabricants i de l'anàlisi qualitatiu i quantitatiu de les seves imatges. Es valoren les parts comunes que formen les dues càmeres com l'objectiu i les seves òptiques, el sensor, l'exposímetre, el mecanisme d'enfocament, etc... Tambè es determinen i s'avaluen característiques específiques tals com el camp angular, el factor de retall, la profunditat de camp, el balanç de blancs, la sensibilitat del sensor, etc... Finalment, com a part experimental del treball s'han realitzat mesures de qualitat de la imatge, en concret, mesures de la relació senyal soroll i de modulació al contrast.

En la part final del treball es conclou que si bé la càmera Smartphone és més versàtil, manejable i compacte, la qualitat de la imatge obtinguda amb aquesta càmera, a dia d'avui, és menor que la de la càmera reflex.



## GRAU EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

# **The photo camera and celular camera. Comparison of characteristics and benefits. Analysis of the quality parameters.**

### **ABSTRACT**

Every day, smartphones are used as principal devices for making photos. This trend is established, among other reasons, by the quality of the pictures and videos which can be offered by the high-end devices. The characteristics of photos and videos of many cellphones now can provide acceptable quality to think of avoidance of sophisticated large-scaled devices.

This study analyses the similarities and the differences between a smartphone camera and a SLR camera comparing some of their quantitative and qualitative parameters, their ability to make pictures as well as those parts that form both cameras such as camera lens, sensors, light meter, focuser, etc. In addition, several specific characteristics are analysed such as the angular field, depth of field, crop factor, white balance, sensor sensitivity, etc. Finally, using the ImageJ program, the quality parameters of the pictures like signal noise ratio and modulation contrast are made.

In the final part of the study the main conclusion is noted that there are a lot of differences between SLR y phone cameras not only by their characteristics and quality parameters but also by the mode of use. But despite the full range of offered functions it's impossible for this device to reproduce the image quality of the reflex digital camera.

## **Índice.**

1. ABSTRACT.....	3
2. INTRUDUCCIÓN. ....	7
3. OBJETIVOS DE TRABAJO. ....	8
4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA CÁMARA. ....	9
4.1. Partes de una cámara. ....	9
4.1.1. El objetivo.....	9
4.1.2. Aumentos ópticos versus aumentos digitales (zoom digital). ....	11
4.1.3. Usos para cada tipo .....	12
4.2. El sensor.....	12
4.2.1. Tipos de sensores. ....	13
4.2.2. Sensibilidad ISO. ....	15
4.2.3. Numero de pixeles.....	16
4.2.4. El factor de recorte FR de la cámara. ....	17
4.2.5. La relación de aspecto RA.....	19
4.2.5.1. Relaciones de aspecto más usados en la fotografía:.....	20
4.3 El campo angular.....	20
4.3.1. Focal equivalente.....	21
4.4 La exposición.....	22
4.4.1 La abertura de diafragma. ....	22
4.5 La profundidad del campo de la cámara. ....	23
4.5.1. El círculo de confusión.....	25
4.5.2. La distancia hiperfocal.....	26
4.6. El exposímetro. ....	27
4.7. El balance de blancos.....	28
4.8. Espacios de color.....	29
4.9. Análisis de parámetros de calidad .....	30
4.9.1. La resolución.....	30
4.9.1.1. Resolución del objetivo. ....	31
4.9.1.2. Resolución del sensor.....	32
4.9.2. La función de transferencia de la modulación .....	34
4.9.3. La relación señal ruido para diferentes ISO.....	36
4.9.4. El rango dinámico. ....	36
4.9.5. Reproducción del color.....	39
5. SLR VERSUS SMART PHONE CÁMARA.....	41
5.1. Diseño y manejo. ....	41
5.2. Objetivo.....	41
5.3. Aumentos ópticos. ....	42
5.4. Aumentos digitales. ....	42
5.5. Numero de diafragma.....	42
5.6. Shutter (velocidad de disparo). ....	42
5.7. Autoexposure bracketing.....	42
5.8. Sensor. ....	43
5.9. Campo Angular. ....	43
5.10. Distancia hiperfocal.....	44

5.11.	Menús.....	44
5.12.	Modos de fotografiado. ....	46
5.13.	Resolución. ....	47
5.14.	Balance de blancos.....	47
5.15.	Medición de luz. ....	47
5.16.	Enfoque. ....	47
5.17.	Resolución de pantalla. ....	48
5.18.	Resolución de video. ....	48
5.19.	Medida de parámetros de calidad .....	48
5.19.1.	Ruido .....	48
5.19.2.	MTF .....	50
6.	VALORACIÓN, PROS Y CONTRAS.....	52
7.	CONCLUSIONES. ....	56
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	57
9.	ANEXOS. ....	60
9.1.	Relación señal ruido.....	60
9.2.	MTF. ....	63

## **1. ABSTRACT.**

### **Introduction.**

In recent years, smartphone are used as principal devices for making photos. This trend is determined, among other reasons, by the quality of the pictures and videos which can be offered by the high-end devices. The characteristics of photos and videos of many cellphones now can provide acceptable quality to think of avoidance of sophisticated large-scaled devices.

A smartphone is always with us, this is a one of things we always check before leaving home. Not many people use sophisticated SLRs or video cameras without any intention to perform a photo session or make a video report of excellent quality.

Everybody, who has digital cameras, usually use them personally for the family events: walks, trips etc. In contrast, the smartphone cameras are used for many other events: traffic reports, location, purchasing, information sharing etc. And everything persons do with their phone cameras is limited by the mobile device capabilities.

In the market, each kind of camera finds its client. The most worldwide popular cameras are compacts, then come bridge cameras and finally SLRs with a wide variety of devices for beginners and professionals. But nowadays phone cameras started to compete for clients, taking a market share of compact cameras. This fact highlights the trend that will become more important over time.

This study analyses the difference between a smartphone camera and a SLR camera comparing some of their quantitative and qualitative parameters, their ability to make pictures as well as those parts that form both cameras such as camera lens, sensors, light meter etc. In addition, several specific characteristics will be analysed such as the angular field, depth of field, white balance etc. Finally, as the experimental part, some pictures from each camera will be made. Then, using the ImageJ program, the quality parameters of the pictures estimation will be made.

### **Materials and method.**

To carry out the study, two digital cameras are used, one of them is Canon EOS 550D and the second is a smartphone Samsung Galaxy S4 camera.

First of all, we'll determine the main parameters of both cameras and describe their constructive parts: camera lens and a sensor. The main parameters of the camera lens are: type of lens, focal distance, optical and digital zoom. The main characteristics of sensor are: ISO sensibility, number of pixels, pixel size, crop factor FR and aspect ratio RA. Then we'll describe angular field, depth of field, exposure meters and white balance. Finally we'll research the quality parameters: camera resolution, signal noise relation, modulation transfer function (MTF).

After determination of qualitative and quantitative parameters we'll analyse the value of each one for the SLR and for the cellular camera. We'll provide the calculations and comparative tables for both devices.



We'll use the ImageJ program to calculate the signal noise relation SNR and the modulation transfer function and then represent the results graphically.

## **Results and discussion.**

The design of both cameras is totally different. The SLR is the camera with a possibility of video recording; and the smartphone camera provides a broader range of functions and form a small part of the device functionality.

The SLRs are bigger in size than the smartphone and it's impossible to carry it every time. The smartphone camera is accessible all the time and could be initiated by just a single finger.

When making photo with the SLR, the object is observed directly through the viewfinder. The smartphone camera has not a viewfinder and shows the image on the phone screen.

The camera lens of the SLR is removable with the possibility to change the diaphragm number and focal distance. The mobile phone camera has the camera lens fixed with the specific diaphragm number and focal distance. To change the exposure we use the software available on the mobile device.

The SLR has only an optical zoom, and the smartphone camera only a digital one. This means that the SLR provides better quality of the picture, and the smartphone camera uses special software to enlarge some part of the picture.

The SLR controls amount of light which enters to the camera by diaphragm variation. The smartphone camera has the diaphragm fixed and uses higher shutter speed as compensation.

But the principal difference between the cameras is the sensor size. The sensor of the SLR is much bigger and allows to receive more light and provides better pictures.

The ISO sensibility of the SLR represents a wider range comparing to the cellular camera. The both devices can make photo using JPG format but SLR also uses the RAW format for its photos.

The SLR is able to change the focal distance and can behave as a normal camera, wide angle camera and a telephoto lens camera. The smartphone camera has only a fixed angular field which is more than 50°, so in essence it's a telephoto lens camera.

The menu option of each camera is different. SLR offers a lot of tools to make picture or video better as well as creative mode allowing modification of almost all parameters of the camera. It looks more solid and professional in comparison to the menu of the smartphone device. The smartphone camera provides a reduced menu functionality but it is more comfortable and fast for the users.

The shooting mode is varied in both cameras. The shooting mode of Canon is based on changing of exposure in accordance to the lighting and the photographed object. There is a possibility of manual mode of exposure. The mobile camera manufacturers do not allow to make any exposure changes. Almost all functions are automatic. Here we can find the some software tools which allow to make images more creative without special professional skills.

The resolution of both cameras allows to select between several options. Canon has three type of resolution from 4.5 Mp till the maximum of 18 Mp. The Samsung camera allows you to choice between 5 resolution options from 2.4 Mp to the maximum resolution of 13 Mp. The user of the smartphone is able not only print the pictures of the acceptable quality but to upload photos to Internet application or send by email.

The white balance mode is similar in both devices. Both of them have totally automatic mode and also they allow to choose between different types of modes.

The light measurement is a function which is more advanced in Canon. Here you can find more option of measurement and use them for improving the quality of the photo.

Speaking about the camera's focus, both cameras have autofocus mode. But the Samsung allows to choose the focus point anywhere on the screen. The Canon camera provides 9 focus points that can be seen in the camera's display. You can choose some or all of them via the correspondent menu.

The screen of the smartphone is bigger than Canon's one. It is logical because it serves for to use of all application of the device. Comparing to the SLR, the screen of Samsung has twice of SLR's resolution.

Both cameras allow video recording. This option allows you to use only one device to make photo and video. Both devices can shoot high definition (HD) video. Besides, lower resolutions of video are offered that helps to save space on the disc. The mobile camera can not only make video but also allows to upload it directly to Internet. The reflex camera has not Internet connection. Before sharing files you need to upload them to the computer.

The quality parameters that have been measured are noise (SNR) and the modulation transfer function (MTF). Analysing the graphic signal noise it's revealed that the major SNR is obtained with the sensibility ISO 100, gradually decreasing as ISO grows. This means that the noise value increases with the growth of the ISO sensitivity. As for the comparison between the signal noise ratio of RAW versus JPG files, the value of SNR for JPG files is higher than for RAW ones. The same situation is observed for SNR represented in decibels.

As for the test of inclined edge, there are two types of curves. The ESF graph displays the step between the black and white zones of the test. The RAW images represent the edge with rounded curvature which means the gradual transition between black and white zones. In case of JPG images the edge is sharper, with higher contrast than in case of the RAW images. In case of JPG files of SRL and smartphone camera, we can see the peak on the white part of the test. The appearance of this peak must be determined by the focus mask which the camera activates. The aim of this focus mask is to increase the contrast in transition between the black and white zones. This peak is better seen on the pictures made by smartphone camera.

## **Conclusions.**

As a general conclusion we note that there are a lot of differences in majority of characteristics between SLR and phone cameras. The main advantages of digital cameras are better zoom, better sensor, and better image processors; while the main advantages of smartphones are smaller size, faster data processing, wider range of functions, such as taking pictures, video and voice recorder, etc.

It has been confirmed that the image quality of SLR camera is better than that of the smartphone camera. The functions of SLR allow user to obtain the highest quality of pictures and let him to control the shooting process by using a lot of automatic and manual settings.

The smartphone camera neither allows interfering in the shooting process nor changing of camera advanced options. The main advantage of this camera is simplicity to use, mobility, shooting speed and ability to share the images immediately. It is a multifunctional device. But despite the full range of offered functions it's impossible for this device to reproduce the image quality of the reflex digital camera.

## **2. INTRODUCCIÓN.**

Últimamente, aparece la tendencia de usar la cámara de Smartphone como la herramienta principal a la hora de hacer fotografías. Esa tendencia viene dada, entre otros motivos, por la buena calidad fotográfica y de video que ofrecen algunos terminales de gama alta. Las prestaciones fotográficas y de video de muchos teléfonos móviles ofrecen una calidad aceptable como para plantearse prescindir de dispositivos más voluminosos y complicados de usar que ofrecen funcionalidades específicas.

El Smartphone siempre nos acompaña, es una de las cosas que siempre comprobamos que no se nos olvida antes de salir de casa. A pocas personas se les ocurre llevar la cámara de fotos réflex o una cámara de video de buena calidad, a no ser que la intención sea realizar una sesión de fotos, un reportaje o un video de calidad.

Todos los que tienen cámaras fotográficas digitales las usan como un medio personal en eventos familiares, paseos, viajes etc. que son la mayoría. En cambio, las cámaras de móviles se usan para muchísimas más cosas: reportajes de tráfico, ubicación, compras, compartir información etc., y lo que las personas hacen con sus cámaras telefónicas está limitado a la capacidad de sus dispositivos móviles.

En el mercado cada tipo de cámara encuentra a su cliente. Las más utilizadas a nivel mundial son las compactas luego van las cámaras puente y al final las réflex con todas su variantes, para principiantes y profesionales. Pero ahora, compitiendo por la captación de clientes, están las cámaras telefónicas, quitando la cuota del mercado a las cámaras compactas. Este hecho marca una tendencia que se va a hacer más importante en el tiempo.

En este estudio se verá la diferencia entre un teléfono móvil y una cámara réflex a partir de unos parámetros cuantitativos y cualitativos de las cámaras y de las imágenes que realizan. Se valorarán las partes que componen las dos cámaras, como el objetivo con la óptica que le forma, sensor de cada cámara, el exposímetro, etc. También, se determinarán y se evaluarán las características específicas tales como el campo angular, profundidad de campo, el balance de blanco, etc. Finalmente, como parte experimental del trabajo se realizarán unas imágenes desde cada cámara y con la ayuda del programa ImageJ se calcularán dos parámetros de calidad de imagen, el nivel de ruido y la función de modulación al contraste (MTF).

A partir del análisis de los resultados se podrá encontrar respuestas a las preguntas que se plantean la mayoría de usuarios de las cámaras fotográficas: para que sirve y si merece la pena usar el Smartphone como cámara de foto digital o si tiene sentido adquirir una réflex teniendo a mano un Smartphone.

### **3. OBJETIVOS DE TRABAJO.**

En el trabajo se analizarán las características de la cámara réflex Canon EOS 550D y de la cámara móvil Samsung Galaxy S4.

El objetivo principal de trabajo consiste en comparar las características y prestaciones de las dos cámaras digitales en base de los parámetros previamente determinados. Realizar la valoración de los pros y los contras a partir del análisis de resultados.

Como el objetivo específico, se usará el programa de procesamiento de imágenes ImageJ para realizar los cálculos de medida de parámetros de calidad de imagen, tales como relación señal ruido y la MTF y representar los resultados gráficamente.

## **4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA CÁMARA.**

### **4.1. Partes de una cámara.**

Los elementos característicos de la cámara fotográfica son:

- El objetivo
- El diafragma
- El obturador
- El sensor
- El fotómetro
- El visor

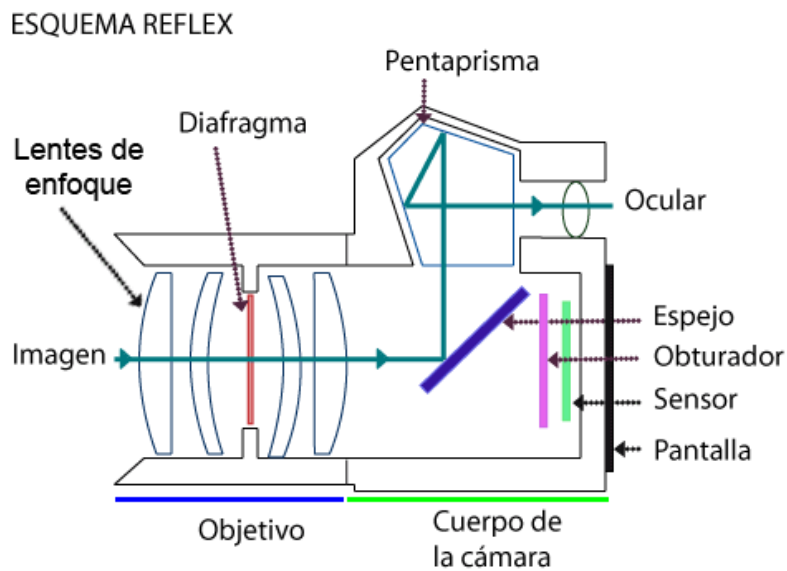


Figura 1. Esquema de una cámara reflex.

Fuente: <https://leticiaortegafotografia.wordpress.com/tag/parte-trasera-de-una-camara-canon/>

#### **4.1.1. El objetivo**

El objetivo es uno de los componentes más importantes de la cámara fotográfica. Es un sistema óptico, formado por un conjunto de lentes y el diafragma de apertura del sistema. Las lentes del objetivo proyectan los rayos de luz en un punto llamado imagen. Cuando la cámara enfoca un objeto lejano (infinito) se hace coincidir el foco con el sensor de la cámara para obtener una imagen nítida.



Figura2: Esquema de un objetivo enfocando al infinito.

Fuente: <https://quecam.wordpress.com/objetivo/>

Todo objetivo tiene una serie de características:

- Distancia mínima de enfoque: Es la distancia a partir de la cual se puede enfocar. Si tratamos de hacer una fotografía por debajo de dicha distancia el objetivo no podrá enfocar y la imagen saldrá borrosa.
- Apertura máxima de diafragma: Cada objetivo tiene una apertura máxima de diafragma.
- Distancia focal mínima y máxima: O el grado de zoom que tiene. Un objetivo puede ser de focal fija o de focal variable (tipo zoom).
- Estabilizador de imagen: El estabilizador de imagen es un sistema que reduce las vibraciones, evitando trepidación. Facilita que las fotos no salgan movidas y ayuda a obtener fotos más nítidas. Puede ir integrado en el objetivo y también en el cuerpo de la cámara.
- Enfoque: El sistema de autoenfoque varía en velocidad y precisión según la gama del objetivo. Los de alta gama tienen un autoenfoque mucho más rápido y permite enfocar en condiciones de poca luz. Este aspecto es especialmente importante para fotografías en las que hay mucho movimiento, como en los deportes. Otra diferencia es que algunos objetivos permiten enfocar manualmente sin tener que permutar de modo automático a modo manual.
- Calidad de construcción: Los objetivos profesionales distan claramente en la calidad de construcción de los objetivos domésticos. Permiten un uso más extremo ya que están más preparados para las inclemencias, como la lluvia, el polvo y los golpes.
- Nitidez, distorsión y aberraciones: Los objetivos deforman la imagen, aunque en ocasiones sea imperceptible. Esto se da por la forma de las lentes y por la precisión en su proceso de fabricación y hacen que la imagen se distorsione. Las desviaciones (imperfecciones) de las imágenes reales de una imagen ideal predicha por la teoría simple se denominan aberraciones. La suma de estos factores hace que un objetivo sea más o menos nítido y fiel a la realidad.

### **4.1.2. Aumentos ópticos versus aumentos digitales (zoom digital).**

El zoom óptico es la función de la cámara que agranda las imágenes. Se realiza mediante un movimiento de diferentes lentes en la cámara. Este tipo de zoom busca provocar una sensación de acercamiento al objeto sin necesidad de desplazarnos hacia él. Se cree, erróneamente, que el zoom acerca lo que queremos fotografiar, lo que hace esta función es aumentar el tamaño de la imagen.

Este tipo de zoom provoca una pérdida de la región exterior de la imagen que observábamos antes de realizar el zoom. Dado que la imagen aumenta de tamaño, pero la región capturada (y observable a través del visor) se mantiene igual, la zona circundante de la imagen se pierde progresivamente a medida que aumentamos el factor de zoom. Al realizar este tipo de zoom, la zona de la imagen que aumenta de tamaño permite distinguir detalles que no se observaban antes de realizar el zoom. Esto se debe a que el efecto de agrandamiento se realiza de forma física a través del juego de lentes.

Esta función es mecánica y por esto la calidad de la imagen no se ve afectada. En otras palabras, al utilizar el zoom óptico, la imagen no se pixela, es decir que no se verá borrosa ni con los cuadritos que hacen ver de mala calidad la imagen.

En cuanto al zoom óptico, lo importante es la calidad de la imagen. No sólo se acerca más el objetivo que quiera destacar sino que no se pierde ningún detalle.

El zoom digital. Esta función se genera a partir de un software o programa incluido en la cámara, que aumenta el tamaño de la imagen. El efecto es similar a cuando se agranda una imagen en el computador a tal punto que la ve pequeña.

Cuando se utiliza el zoom digital, las lentes del objetivo se ajustan a la máxima distancia focal (teleobjetivo) del zoom. Se usa una zona más pequeña del sensor para grabar la imagen. Entonces, esta imagen se vuelve a procesar al tamaño original para generar una imagen con la ampliación equivalente a la que se hubiera tomado si se utilizara un teleobjetivo más potente. A medida que se incrementa la cantidad de zoom digital, se utiliza un área del sensor de la imagen cada vez más pequeña, dando lugar a una reducción de la calidad de la imagen proporcional a la cantidad de zoom utilizado.

El zoom digital se realiza mediante la interpolación de píxeles. La idea se basa en deducir píxeles intermedios a partir de los ya existentes. Sabiendo que una imagen digital está compuesta por píxeles cuadrados, conformando una gran rejilla de píxeles (o también llamada matriz), si intercalamos píxeles, hacemos la rejilla más grande. Al hacer la rejilla más grande, la imagen se hace, por tanto, mayor, creando el efecto de acercamiento y, por tanto, el efecto de zoom. Los nuevos píxeles se deducen a partir de los ya existentes. Esto implica que no nos inventamos información, con lo cual, después de hacer un zoom digital, no se obtienen los objetos que veríamos si nos acercáramos o hiciéramos un zoom óptico a través de lentes.

El uso de este zoom le baja la calidad a la imagen, porque al agrandar la imagen ésta se pixela y queda deformada. Se aumenta el tamaño total de la imagen y no elimina, por sí mismo, las zonas circundantes. Su uso en cámaras añade la limitación del zoom óptico, ya que, al tener que grabar la imagen en un tamaño definido, ha de descartar de forma forzosa las zonas circundantes. Si se realiza el zoom digital en un editor de imágenes, no es necesario perder ninguna zona de la misma.



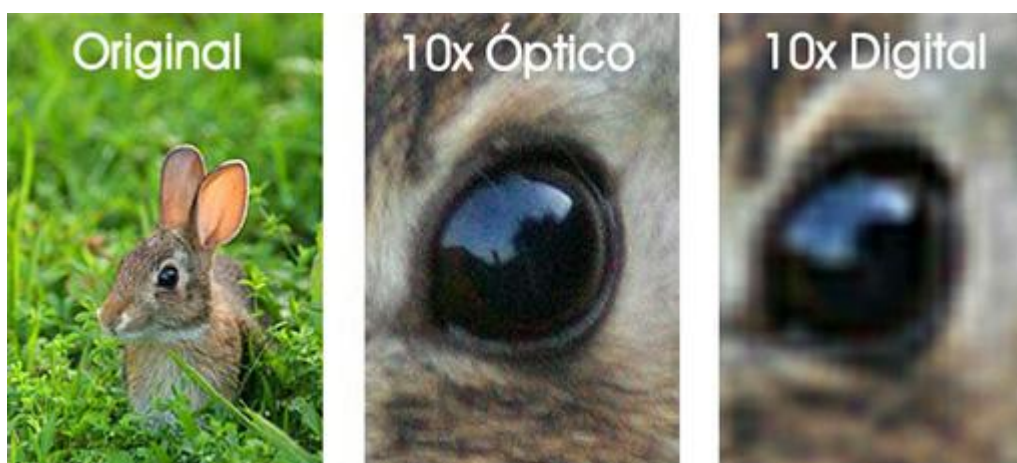


Figura3: Diferencia zoom óptico-zoom digital. Fuente: [www.nukleoblog.com](http://www.nukleoblog.com).

A diferencia del zoom óptico, el zoom digital no aumenta el nivel de detalle de la imagen; por lo tanto, cuando se utiliza el zoom digital, la calidad de la imagen va en relación a la cantidad de zoom digital utilizado.

### **4.1.3. Usos para cada tipo**

Ambos tipos de zoom persiguen el mismo objetivo, acercar una zona de la imagen a costa de eliminar los alrededores de la zona.

El zoom óptico produce imágenes de mayor calidad que el zoom digital en todos los casos.

El zoom digital puede ser útil para distinguir qué acción está realizando un objeto lejano y efectuar un disparo en el momento más adecuado. Es un caso bastante particular, en el que resulta más importante la acción capturada que la calidad de la fotografía.

El zoom digital también puede ser útil si no se desea realizar un procesamiento posterior de la imagen y se quiere capturar una zona concreta de la misma a un tamaño mayor, sin importarnos la pérdida de calidad obtenida al realizar el zoom digital. Si se dispone de herramientas, tiempo y predisposición para retocar posteriormente una imagen, siempre es mejor utilizar el zoom óptico y acabar de completar el procedimiento en el editor de imágenes, ya que, de este modo, tendremos la imagen original con más detalle.

## **4.2. El sensor.**

La función del sensor es transformar la imagen óptica creada por el objetivo en una serie de señales eléctricas que darán lugar a la imagen digital.

El sensor está compuesto por una matriz de millones de diminutas celdas llamadas fotositos. Dentro de cada una de estas celdas se encuentra un fotodiodo, que es un componente electrónico sensible a la luz. Cada celda consiste en un receptáculo con el filtro, un sensor y una salida de la señal. El filtro discrimina la luz incidente según su longitud de onda. El sensor mide la cantidad de energía en forma de voltaje, el cual es convertido en un número digital mediante el conversor análogo-digital (ADC)

Durante la exposición, cada fotodiodo convierte la energía presente en la luz (fotones), en corriente eléctrica (electrones). De esta forma, los fotositos almacenan una mayor o menor carga eléctrica en función de la intensidad lumínica que reciben.

El valor de carga acumulado por cada fotosito es bastante pequeño, por lo que debe ser amplificado antes de su digitalización. Un amplificador PGA (Programable Gain Amplificator) se encarga de esta función, aumentando la tensión de salida del sensor.

El nivel de amplificación depende de la sensibilidad ISO seleccionada en la cámara. Cuanto mayor es la sensibilidad ISO, más debe ser amplificada la señal.

Una vez amplificada la señal, un convertidor analógico/digital cuantifica su valor, convirtiéndolo en un número ADU (Analog to Digital Unit). Éste valor indica el nivel de brillo capturado por cada fotosito.

Cuando finaliza la digitalización de la señal, el nivel de brillo de cada fotosito, sus coordenadas en el sensor y una serie de metadatos adjuntos, son almacenados en forma de imagen RAW que es el negativo digital de nuestra fotografía.

#### **4.2.1. Tipos de sensores.**

Los sensores se pueden clasificar según su tecnología:

- CCD y Super CCD
- CCD RGBE
- CMOS
- Foveon X3

Hoy día existen dos tipos de tecnologías utilizadas para la fabricación de sensores de cámaras digitales, ya sean compactas o réflex. Se trata de los CCD (Charge Coupled Device) o CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Ambos tipos de sensores están formados en su esencia por semiconductores de metal-óxido (MOS) y están distribuidos en forma de matriz.

Su función es la de acumular una carga eléctrica en cada una de las celdas de esta matriz. Estas celdas son los llamados píxeles. La carga eléctrica almacenada en cada píxel, dependerá en todo momento de la cantidad de luz que incida sobre el mismo. Cuanta más luz incida sobre el píxel, mayor será la carga que este adquiera.

Aunque en su esencia, los CCD y CMOS funcionan de una manera muy similar, hay algunas diferencias que diferencian ambas tecnologías.

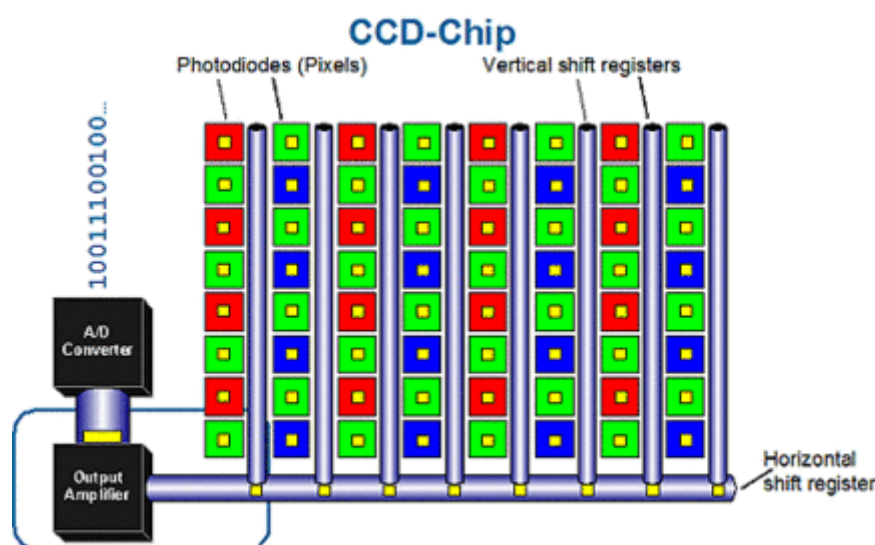


Figura 4. Esquema de sensor CCD.  
Fuente: <http://sensorcleaning.com/whatisasensor.php>

En el caso del CCD, éste convierte las cargas de las celdas de la matriz en voltajes y entrega una señal analógica en la salida, que será posteriormente digitalizada por la cámara. En los sensores CCD, se hace una lectura de cada uno de los valores correspondientes a cada una de las celdas. Entonces, es esta información la que un convertidor analógico-digital traduce en forma de datos. En este caso, la estructura interna del sensor es muy simple, pero tiene como inconveniente la necesidad de un chip adicional que se encargue del tratamiento de la información proporcionada por el sensor, lo que se traduce en un gasto mayor y equipos más grandes.

En el aspecto del rango dinámico, es el sensor CCD el ganador absoluto, pues supera al CMOS en un rango de dos. El rango dinámico es el coeficiente entre la saturación de los píxeles y el umbral por debajo del cual no captan señal. En este caso el CCD, al ser menos sensible, los extremos de luz los tolera mucho mejor.

En cuanto al ruido, los sensores CCD también son superiores a los CMOS. Esto es debido a que el procesamiento de la señal se lleva a cabo en un chip externo, el cual puede optimizarse mejor para realizar esta función. En cambio, en el CMOS, al realizarse todo el proceso de la señal dentro del mismo sensor, los resultados serán peores, pues hay menos espacio para colocar los foto-diodos encargados de recoger la luz.

La respuesta uniforme es el resultado que se espera de un píxel sometido al mismo nivel de excitación que los demás, y que éste no presente cambios apreciables en la señal obtenida. En este aspecto, el que un sensor CMOS esté constituido por píxeles individuales, le hace más propenso a sufrir fallos. En el CCD, al ser toda la matriz de píxeles uniforme, tiene un mejor comportamiento. A pesar de todo, la adición de circuitos con realimentación permite subsanar este problema en los CMOS, los CCD están un poquito por encima igualmente.

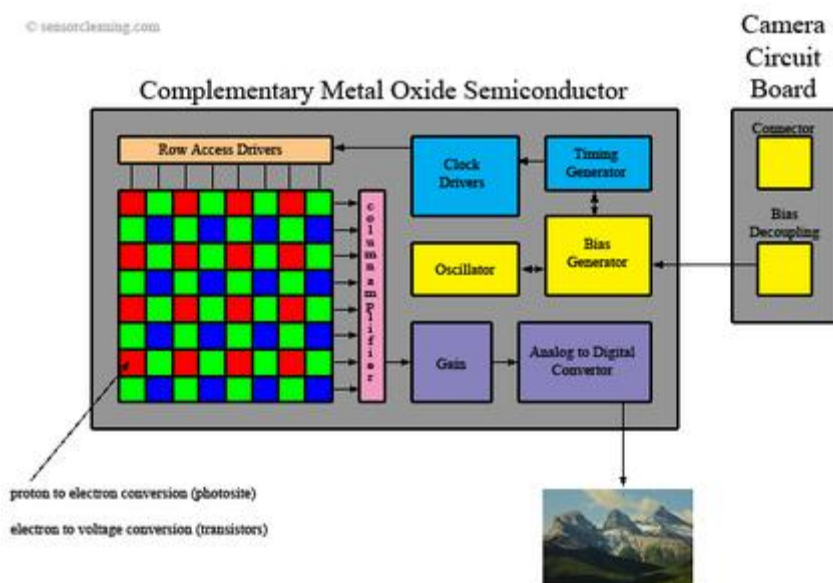


Figura 5. Esquema de sensor CMOS.

Fuente: <http://sensorcleaning.com/whatisasensor.php>

En el caso del CMOS, cada celda es independiente. La diferencia principal es que la digitalización de los píxeles se realiza internamente en unos transistores que lleva cada celda, por lo que todo el trabajo se lleva a cabo dentro del sensor y no se hace necesario un chip externo encargado de esta función. Con esto se consigue reducir costes y equipos más pequeños.

Además de ofrecer más calidad, los CMOS son más baratos de fabricar precisamente por lo que se ha comentado anteriormente. Otra de las grandes ventajas es que los sensores CMOS son más sensibles a la luz, por lo que en condiciones pobres de iluminación se comportan mucho mejor. Esto se debe principalmente a que los amplificadores de señal se encuentran en la propia celda, por lo que hay un menor consumo a igualdad de alimentación. Todo lo contrario que ocurría en los CCD.

En cuanto a la velocidad, el CMOS es claramente superior al CCD debido a que todo el procesado se realiza dentro del propio sensor, ofreciendo mayor velocidad. Es esta una de las principales razones por las que Casio empezó a imponer los sensores CMOS en sus cámaras y por la cual éstas permiten grabar vídeos a velocidades de hasta 1000 fps.

Otro aspecto en el que los sensores CMOS son superiores a los CCD es en el blooming. Este fenómeno se produce cuando un píxel se satura por la luz que incide sobre él y a continuación empieza a saturar a los que están a su alrededor. Aunque este defecto puede subsanarse gracias a algunos trucos en la construcción, en el caso de los CMOS nos olvidamos del problema.

Los sensores CMOS se encuentran acoplados en la mayoría de las cámaras cuyo tamaño de sensor es menor o igual que 24x36 mm mientras que los sensores CCD constituyen la mayor parte de cámaras con sensores de tamaño mayor.

#### 4.2.2. Sensibilidad ISO.

Los sensores de las cámaras pueden trabajar a diferentes sensibilidades. De este modo, a mayor sensibilidad, mayor cantidad de luz son capaces de captar. La sensibilidad es un parámetro más que se puede configurar en la cámara en cada foto que se dispara.

La sensibilidad se mide según el estándar ISO, en el cual cuanto mayor es el número mayor es la sensibilidad. Son sensibilidades típicas 100, 200, 400, 800, 1600. En cada uno de estos saltos se obtiene el doble de sensibilidad. Así, una cámara en ISO 200 tiene el doble de sensibilidad que una tomada a ISO 100. Muchas cámaras permiten además utilizar valores intermedios como 600 ó 1200.

La desventaja de aumentar la sensibilidad de la cámara se concluye en la pérdida de definición y aumento de nivel de ruido. El ruido son unos puntos de colores que van apareciendo, especialmente en las zonas oscuras.

### **4.2.3. Numero de pixeles.**

Cuanto más grande sea la superficie del sensor mayor será la calidad de las imágenes. En un sensor de tamaño grande hay sitio para mas fotositos o pixeles (lo que significa más resolución) o para fotositos/pixeles más grandes (lo que significa mayor calidad de imagen).

En cuanto a la resolución, cuanto más megapíxeles tenga el sensor mayor nivel de detalle tendrán las imágenes. Esto implica la posibilidad de obtener copias en papel de mayor tamaño, o realizar recortes en la imagen sin pérdida de calidad. Como contrapartida, a medida que aumenta la resolución aumenta el tamaño de los ficheros de imagen, por lo que se necesitarían ordenadores con más capacidad de procesamiento y mayor capacidad de almacenamiento.

Hay otros aspectos de la calidad de la imagen como el rango dinámico y el ruido que pueden empeorar si se aumenta mucho la resolución en relación al tamaño del sensor.

La influencia de la relación entre el tamaño y la resolución del sensor a la calidad de la imagen, se explica a través de dos conceptos: la densidad de píxeles y el tamaño del píxel.

La densidad de píxeles es el número de píxeles que tiene el sensor por unidad de superficie. Se calcula dividiendo la resolución por la superficie del sensor y se suele expresar en megapíxeles por centímetro cuadrado.

El tamaño del píxel es la longitud teórica del fotosito (salvo algunas excepciones, los fotositos son cuadrados). Es teórico porque en la forma de calcularlo se supone que no hay espacio entre fotositos. Sin embargo, los fotositos se encuentren un poco separados unos de otros dejando algo de espacio para la circuitería del sensor. El tamaño del píxel se calcula dividiendo el ancho del sensor por los píxeles de ancho de la imagen. El tamaño del píxel se expresa en micras  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ )

Ambos conceptos están estrechamente relacionados: con mismo tamaño de sensor, cuanto mayor sea la densidad de píxeles menor es el tamaño de cada píxel.

La densidad y el tamaño de los píxeles del sensor determinan dos parámetros claves en la calidad de una imagen: el rango dinámico y el ruido.

El rango dinámico (también llamado latitud) es la cantidad de niveles de iluminación que es capaz de capturar el sensor entre el valor mínimo y el máximo de exposición (el negro y del blanco puros). Se mide en pasos o valores de exposición y cuanto mayor sea mejor será la calidad de imagen.

La relación entre el tamaño del píxel y el rango dinámico es la siguiente: cuanto mayor sea el área expuesta a la luz de cada fotosito (es decir cuanto mayor es el tamaño del píxel) más fotones captará el sensor y mayor será su rango dinámico.

En cuanto al ruido, cuanto mayor es el área expuesta a la luz (mayor es el tamaño del píxel), mas fotones capta el sensor por lo que es mejor la relación señal/ruido. Las diferencias en el nivel de ruido de las imágenes de diferentes cámaras se pueden apreciar especialmente cuando se dispara a sensibilidades ISO elevadas.

Generalmente, cuanto mayor sea el tamaño del píxel, mejor es la calidad de las imágenes. No obstante, esta afirmación suele ser válida dentro de cámaras de una misma *generación*. Las nuevas generaciones de cámaras incorporan sensores de mayor resolución, y por tanto, mayor densidad y menor tamaño de píxel. A pesar de ello, suelen mantener (o incluso mejorar) el rango dinámico y los niveles de ruido de cámaras con menor resolución de generaciones anteriores. Esto es debido a un factor adicional que influye en la calidad de las imágenes: la circuitería y el software del procesador de la cámara. Las nuevas generaciones de cámaras mejoran el funcionamiento y prestaciones de ambos.

#### 4.2.4. El factor de recorte FR de la cámara.

El factor de recorte hace referencia al tamaño del sensor de la cámara. Frente a unos pocos tamaños estandarizados que existían en el negativo tradicional (el más popular era el negativo de 35mm que usaban tanto las cámaras réflex como las compactas), con la llegada de la fotografía digital el tamaño del sensor se ha diversificado.

Sensor Name	Medium Format	Full Frame	APS-H	APS-C	4/3	1"	1/1.63"	1/2.3"	1/3.2"
Sensor Size	53.7 x 40.2mm	36 x 23.9mm	27.9x18.6mm	23.6x15.8mm	17.3x13mm	13.2x8.8mm	8.38x5.59mm	6.16x4.62mm	4.54x3.42mm
Sensor Area	21.59 cm²	8.6 cm²	5.19 cm²	3.73 cm²	2.25 cm²	1.16 cm²	0.47 cm²	0.28 cm²	0.15 cm²
Crop Factor	0.64	1.0	1.29	1.52	2.0	2.7	4.3	5.62	7.61
Image									
Example									

Figura 6. Los factores de recorte para sensores de varios dispositivos. Fuente: <http://objetivoimaginario.com/sobre-el-enfoque-selectivo-y-el-tamano-del-sensor/>

En las especificaciones de las cámaras se puede encontrar las dimensiones en milímetros del sensor (ancho x alto) o bien la referencia al factor de recorte del sensor (crop factor).

El factor de recorte es la relación existente entre el tamaño de un sensor de 35mm (36mm x 24mm) y el sensor de la cámara. Mide la relación existente entre las dimensiones de uno y otro, o lo que es lo mismo, el recorte del sensor frente al de un sensor de 35mm. Sensor que es popularmente conocido como de formato completo (Full Frame o FF).

Conociendo el factor de recorte o factor de multiplicación, se puede conocer dicha equivalencia multiplicando ese factor por la distancia focal. El sensor en este caso, al ser más pequeño recoge menos campo o información pero la distancia focal del objetivo no varía.

La siguiente tabla 1 muestra los tamaños de sensor más utilizados por las cámaras digitales:

Tabla 1. Tamaños de sensor más utilizados por las cámara digitales.

Tamaño	Diagonal	Ancho	Alto	Superficie	Imagen
1/3,6"	5,00 mm	4,00 mm	3,00 mm	12,00 mm <sup>2</sup>	
1/3,2"	5,68 mm	4,54 mm	3,42 mm	15,50 mm <sup>2</sup>	
1/3"	6,00 mm	4,80 mm	3,60 mm	17,28 mm <sup>2</sup>	
1/2,7"	6,60 mm	5,28 mm	3,97 mm	20,87 mm <sup>2</sup>	
1/2"	8,00 mm	6,40 mm	4,80 mm	30,72 mm <sup>2</sup>	
1/1,8"	8,93 mm	7,18 mm	5,32 mm	38,20 mm <sup>2</sup>	
2/3"	11,00 mm	8,80 mm	6,60 mm	58,08 mm <sup>2</sup>	
1"	16,00 mm	12,80 mm	9,60 mm	122,88 mm <sup>2</sup>	
4,3"	22,50 mm	18,00 mm	13,50 mm	243,00 mm <sup>2</sup>	
APS-C	30,10 mm	23,60 mm	15,60 mm	368,16 mm <sup>2</sup>	
APS-H	33,50 mm	27,90 mm	18,60 mm	518,94 mm <sup>2</sup>	
Full-Frame	43,30 mm	36,00 mm	24,00 mm	864,00 mm <sup>2</sup>	
H4D-60	64,70 mm	53,70 mm	40,20 mm	2.158,74 mm <sup>2</sup>	



Por ejemplo, un objetivo de 16mm., diseñado para una cámara con sensor APS-C, tiene un factor de recorte o multiplicador de 1,52 por lo que realizando la multiplicación, se obtiene que ese objetivo sería equivalente a un objetivo de 24mm en el formato full frame.

Esta referencia al sensor de 35mm viene de la época de la fotografía química, en que el tamaño de los negativos más populares y utilizados por los fotógrafos era, precisamente, de 36mm x 24mm.

En el momento de la evolución al mundo digital, éstas fueron las dimensiones de los primeros sensores que se comenzaron a crear. Sin embargo, pronto se empezó a trabajar con sensores más pequeños que permitieron reducir costes y democratizar el acceso a la fotografía digital hasta los niveles que hoy conocemos. A partir de ese momento se empezó a hacer una distinción entre cámaras con sensor de formato completo (full frame) y cámaras con sensor de tamaños más reducidos.

¿Cómo se calcula el factor de recorte?

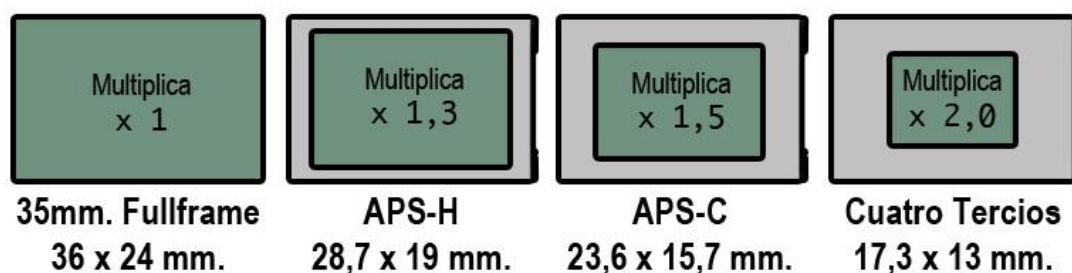
Para calcular el factor de recorte se utiliza el Teorema de Pitágoras. Se calcula el valor de la hipotenusa que es la medida de la diagonal del sensor:

$$H(\text{Full frame} - 35\text{mm}) = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{36^2 + 24^2} = 43,27 \text{ mm}$$

$$H(\text{APS} - \text{C}) = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{23,6^2 + 15,7^2} = 28,43 \text{ mm}$$

$$FR = \frac{H(35\text{mm})}{H(\text{APS} - \text{C})} = \frac{43,27\text{mm}}{28,43\text{mm}} = 1,52$$

#### TAMAÑO DE ALGUNOS SENSORES Y SU FACTOR DE MULTIPLICACIÓN



©PhotoJoseBueno.com

Figura 7. Tamaño de algunos sensores. Fuente: [http://www.photojosebueno.com/blog/?page\\_id=613](http://www.photojosebueno.com/blog/?page_id=613)

#### 4.2.5. La relación de aspecto RA.

La relación de aspecto nos indica la proporción de altura y anchura de una fotografía. Se expresa separando la proporción de la altura con la anchura con dos puntos. Por ejemplo, si



una imagen mide 800 píxeles de alto, medirá 800 de ancho para una relación de aspecto de 1:1. Otro ejemplo sería una imagen con altura de 1000 píxeles y anchura de 1500 píxeles cuya relación fuera de 3:2. Cuanto mayor sea la diferencia entre un número y otro de la relación de aspecto, más alargada será la imagen, ya sea en vertical u horizontal. El formato cuadrado es 1:1; el estándar de fotografía es 3:2 (en horizontal, o 2:3 en vertical), mientras que una toma panorámica horizontal sería 3:1.

#### **4.2.5.1. Relaciones de aspecto más usados en la fotografía:**

**3:2** – Es el equivalente a la película analógica de 35mm, el estándar universal en fotografía en el que disparan prácticamente todas las cámaras réflex de hoy en día. Tiene una clara dominante horizontal para el ojo humano.

**4:3** – Proporción estándar para cámaras digitales compactas y la mayoría de las cámaras de smartphone. Este formato ha sido también el adoptado tradicionalmente por televisores y pantallas de ordenador, hoy ya en desuso. La dinámica de este encuadre no se impone mucho en la composición por no tener una horizontalidad muy dominante.

**5:4** – El tamaño más estandarizado para la fotografía de gran formato es 5:4, esta proporción se deriva del tamaño de las hojas de película, que suelen ser 8x10 pulgadas. Este formato ofrece una proporción muy equilibrada entre ancho y largo.

**1:1** – Formato cuadrado, sin dirección. Resulta muy estático por eso la mayoría de las estrategias de diseño y composición en este formato tienen que tender a escapar de su férreo equilibrio. La vista es conducida en todo momento hacia el centro, por eso suele ser difícil escapar de la sensación de geometría que impone.

### **4.3 El campo angular.**

**El campo angular** es el campo visual que abarca el objetivo, la amplitud de la escena que el objetivo es capaz de proyectar sobre el plano focal. Cuanto menor es la longitud focal de un objetivo, mayor es su campo angular. Por ejemplo, un objetivo de 35mm tiene un campo angular mayor que uno de 85mm.

En función del valor de su campo angular, los objetivos se pueden clasificar en:

- Normales. Tienen un campo angular en torno a los 50°. Se llaman normales porque este campo es similar al de la visión humana.
- Angulares. Su campo angular suele estar entre el rango de los 60° a los 90°. Existen objetivos angulares llamados ojos de pez que tienen campo angular de hasta 180°
- Teleobjetivos. Su campo angular es menor que el de los objetivos normales. Habitualmente está entre los 28° y 8°, o incluso menor en el caso de grandes teleobjetivos.

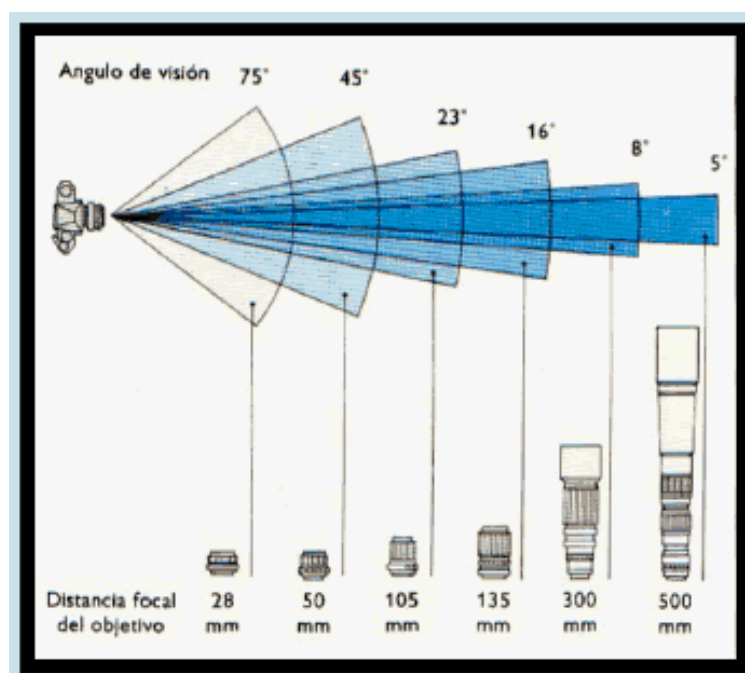


Figura 8. Campo angular de diferentes objetivos.

Fuente: <http://www.hiboox.es/go/consejos-foto/astucias-para-sacar-buenas-fotos/objetivos,278>

#### 4.3.1. Focal equivalente.

El efecto de la longitud focal sobre el campo angular depende del tamaño del sensor. No obstante, debido a la popularidad de las cámaras réflex full-frame (cuyo sensor tiene el mismo tamaño que el negativo de 35 mm) las distancias focales de este formato son utilizadas como referencia en cámaras con sensores más pequeños. De esta forma, en los objetivos de las cámaras compactas no se suele indicar la distancia focal real, sino que se suele indicar la distancia focal equivalente en formato de 35mm.

La siguiente tabla muestra las longitudes focales y campos angulares de los objetivos fijos más habituales en cámaras réflex full-frame

Tabla 2: Distancias focales y ángulos de cobertura de los objetivos fijos más habituales en cámaras réflex. Fuente propia.

Tipo	Longitud focal	Campo angular
Angular	24 mm	84°
	28 mm	75°
	35 mm	63°
Normal	50 mm	46°
Teleobjetivo	85 mm	28°
	200 mm	12°
	300 mm	8°

Existen objetivos con longitud focal variable. Estos objetivos se conocen con el nombre de zoom, y disponen de algún mecanismo que permite el cambio gradual de la longitud focal.

Un objetivo zoom es un objetivo de distancia focal variable, es decir, aquellos en los que se puede variar a voluntad la distancia focal y, en consecuencia, el campo angular. Las propiedades básicas de un objetivo zoom son su distancia focal mínima y máxima, así como su valor  $f$  de luminosidad para su distancia focal mínima y máxima. El cociente entre la máxima y la mínima distancia focal posible se denomina factor zoom y suele ser representado por el cociente acompañado por una 'x'.

#### 4.4 La exposición.

En fotografía la exposición es la cantidad de luz que recibe el sensor para que se forme una imagen. Matemáticamente la exposición se calcula a partir de la formula:

$$H = E * t$$

Donde H: exposición, E: iluminación, t: tiempo.

La iluminación formada por el objetivo es:

$$E = \tau \frac{\pi L}{4N^2(1-m)^2},$$

Donde  $\tau$  es la transmitancia del objetivo, L la luminancia del objetivo, N el numero de diafragma y m el aumento lateral entre el objeto y su imagen.

El número de diafragma se define como el número de diafragma el cociente entre la focal del sistema  $f'$  y el diámetro de la pupila de entrada  $\phi_{PE}$ :

$$N = f' / \# = \frac{f'}{\phi_{PE}}$$

Cuando el objeto está lo suficientemente alejado (a una distancia mayor de 20  $f'$ ), el aumento es prácticamente nulo y la ecuación de iluminación se puede representar como:

$$E = \tau \frac{\pi L}{4N^2}$$

Aplicamos esa fórmula para el cálculo de la exposición:

$$H = \tau \frac{\pi L}{4N^2} t$$

Según la fórmula de la exposición se observa que el valor de exposición es directamente proporcional al tiempo e inversamente proporcional al número de diafragma.

##### 4.4.1 La abertura de diafragma.

El diafragma es un mecanismo situado en la parte posterior del objetivo que se utiliza para graduar la cantidad de luz que llega al sensor. Está formado por una conjunto de laminillas metálicas que se mueven de forma radial para abrir o cerrar un orificio de tamaño ajustable. Lo abierto que está el diafragma es lo que se llama apertura de diafragma.

En fotografía se utiliza una escala de aperturas relativas, que relaciona la distancia focal y el diámetro físico del diafragma. Este sistema utiliza una magnitud llamada número  $f$  para clasificar las diferentes aperturas.

La ventaja de este sistema es que en todos los objetivos, independientemente de su distancia focal, la cantidad de luz que deja pasar un diafragma de un determinado número  $f$  es exactamente la misma.

Cuanto menor es el número  $f$ , mayor es la apertura del diafragma (y por tanto llega más luz al sensor). El diafragma más abierto sería  $f/1$  y el más cerrado  $f/32$ . Cada *paso* de diafragma deja pasar al sensor el doble o la mitad de luz que en el anterior.

La escala de números  $f$  es universal y la utilizan todos los fabricantes de cámaras y objetivos:

Escala de números $f$										
$f/1$	$f/1.4$	$f/2$	$f/2.8$	$f/4$	$f/5.6$	$f/8$	$f/11$	$f/16$	$f/22$	$f/32$

## 4.5 La profundidad del campo de la cámara.

Se denomina "profundidad de campo" a la distancia comprendida entre los puntos más próximos y más lejanos que se reproduce con nitidez en una fotografía.

El control de la profundidad de campo se realiza en función de los siguientes factores:

- la apertura de diafragma utilizada. Para una longitud focal y una distancia fijas, la profundidad de campo aumenta a medida que disminuye la apertura de diafragma, y viceversa. La profundidad de campo será tanto mayor cuanto menor sea la apertura de diafragma.

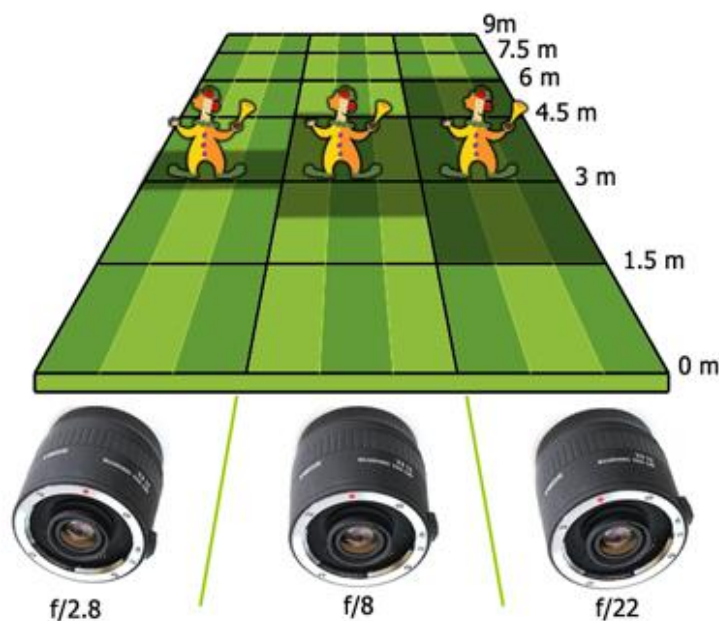


Figura 9. Profundidad de campo para distintas aperturas de diafragmas. Fuente: <http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/211-profundidad-de-campo>

- la distancia de enfoque. La profundidad de campo es tanto más estrecha cuanto menor es la distancia de enfoque (motivo cercano), y al contrario, a mayor distancia de enfoque mayor profundidad de campo. La posibilidad de enfocar nítidamente una escena de cierta profundidad será tanto mayor cuanto más lejos estemos de ella. El emborronamiento (desenfoque) de los distintos planos de un motivo es tanto mayor cuanto más cerca estemos de él al tomar la fotografía.

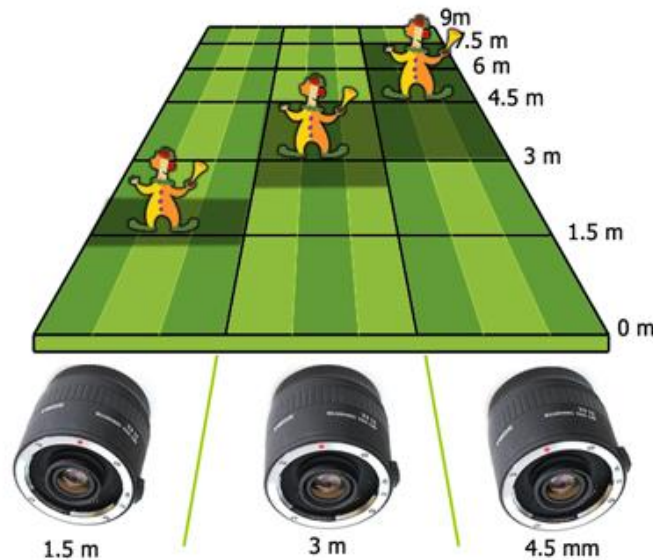


Figura 10. Relación entre la profundidad de campo y la distancia de enfoque. Fuente: <http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/211-profundidad-de-campo>

- la distancia focal del objetivo. Cuanto mayor es el tamaño de la imagen, menor será la profundidad de campo que se obtenga con una abertura determinada. Esto es válido tanto si el tamaño de la imagen se aumenta acercándose al motivo (distancia de enfoque) o por el empleo de un objetivo con longitud focal mayor (teleobjetivo). Para las mismas distancias de enfoque y abertura de diafragma, la profundidad de campo será tanto menor cuanto mayor sea la longitud focal del objetivo. Con teleobjetivos se tendrá menos profundidad de campo que con objetivos de longitud focal normal y gran angulares.

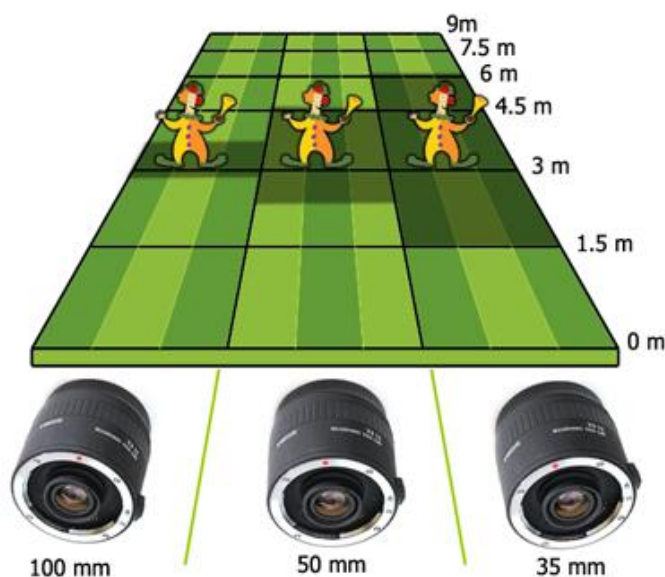


Figura 11. Relación entre la distancia focal del objetivo y la profundidad de campo. Fuente: <http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/211-profundidad-de-campo>

#### 4.5.1. El círculo de confusión.

El círculo de confusión es el tamaño de la proyección sobre el sensor que el ojo humano es capaz de apreciar nítidamente en la imagen, o sea, es el diámetro máximo de un círculo de luz en el sensor que puede distinguir el ojo humano como un punto perfectamente definido en la imagen final.

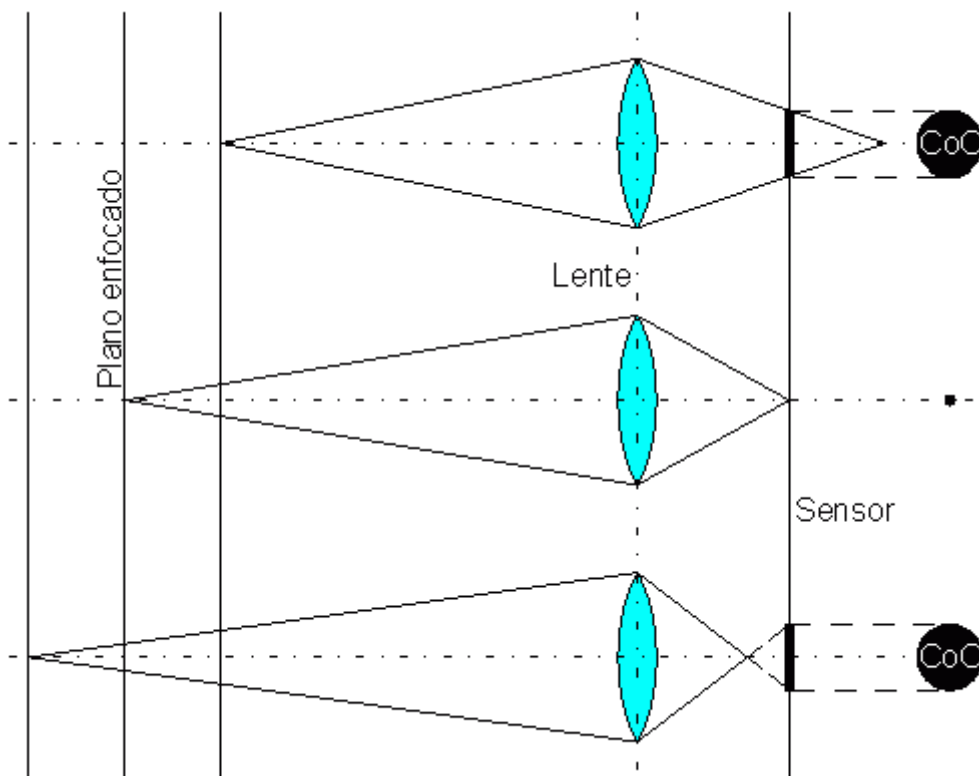


Figura 12. Círculo de confusión. Fuente: <http://designphot.blogspot.com.es/p/distancia-hiperfocal.html>

El círculo de confusión es el tamaño mínimo del círculo de desenfoque que permite ver la imagen enfocada. Se mide en fracciones de milímetro (sobre la superficie del sensor) y sirve como referencia para determinar qué está en foco y qué no en una fotografía, ya que cualquier área de luz con un tamaño menor al círculo de confusión se observa nítida y definida (se ve como un punto) y la que tiene un tamaño mayor aparece fuera de foco (más desenfocada cuanto mayor es su tamaño).

El Círculo de Confusión se valora sobre una copia impresa en papel de modo que su tamaño dependerá de tres factores:

- La agudeza visual del espectador.
- La distancia del ojo a la copia impresa.
- El tamaño de ampliación de la fotografía.

Se considera que un ojo sano, normal, tiene una capacidad de resolución de 5 pares de líneas por milímetro a una distancia de 250 mm, lo que significa que, a esa distancia, podremos ver enfocada la imagen cuando el círculo de desenfoque presente un tamaño menor que  $c'=0,2$  mm en la fotografía impresa.

Para obtener una copia de 15 x 20 cm a partir de un negativo de 24 x 36 mm, se necesita una ampliación de imagen  $m = F_A = 5,78$ . El círculo de confusión en el sensor se calcula a partir de la formula:

$$c_0 = \frac{c'}{m} = \frac{0.2mm}{5.78} = 0.035 \text{ mm}$$

Si en lugar de un sensor de 35 mm, se usa uno APS-C, será necesaria una ampliación  $m = 8,29$ , por lo que el círculo de confusión:

$$c_0 = \frac{c'}{m} = \frac{0.2mm}{8.29} = 0.024 \text{ mm}$$

#### 4.5.2. La distancia hiperfocal.

La distancia hiperfocal es aquella distancia de enfoque que permite obtener una profundidad de campo que va desde la mitad de esta distancia hasta el infinito.



Figura 13. Distancia hiperfocal de una cámara. Fuente: <http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/212-distancia-hiperfocal>

La fórmula para calcularla es:

$$H = \frac{f'^2}{N * c}$$

Donde H es la distancia hiperfocal,  $f'$  es la distancia focal del objetivo, N es el número de diafragma, y c es el diámetro del círculo de confusión.

La distancia hiperfocal está delimitada por tres parámetros: el tamaño del círculo de confusión  $c$ , la distancia focal  $f'$  utilizada y la apertura del diafragma  $N$ . Al modificar alguno de estos valores la distancia hiperfocal cambia. El tamaño del círculo de confusión  $c$  no va a cambiar, pero se puede variar la apertura y la longitud focal, aunque el valor de estos parámetros está condicionado por la hiperfocal que se quiere conseguir.

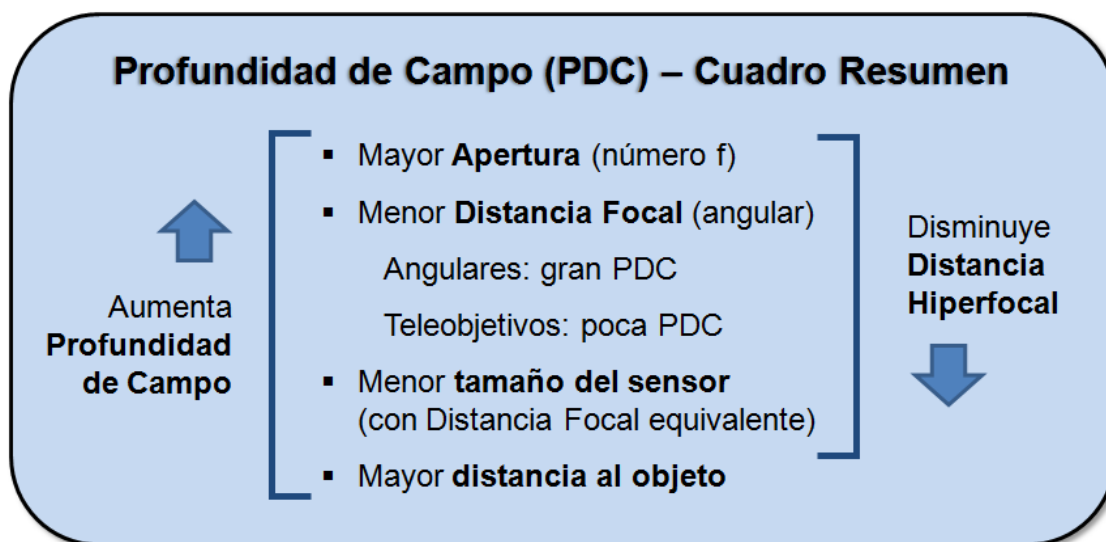


Figura 14. Cuadro resumen con los factores que influyen en la profundidad de campo. Fuente: <https://aprendofotografia.wordpress.com>

#### 4.6. El exposímetro.

El exposímetro es el instrumento que mide la luz que incide en la cámara. En fotografía se utiliza para determinar la correcta exposición y permite determinar cuál combinación de apertura de diafragma y velocidad le conviene teniendo en cuenta el ISO de la cámara. Actualmente las cámaras traen incorporado un exposímetro.

Existen dos tipos de exposímetros en dos en función del método que utiliza para medir la luz. Estos son:

- De luz reflejada: Mide la luz que se refleja en las superficies.
- De luz incidente: Mide la luz que incide sobre el fotómetro.

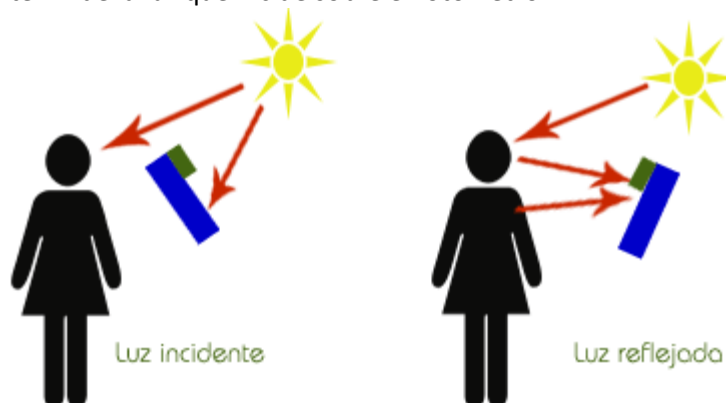


Figura 15. Medición de la luz con el exposímetro. Fuente: <http://www.digitalfotored.com/fotografia/exposimetros.htm>



En las cámaras réflex, el exposímetro está a la vista a través del visor y permite ver la combinación adecuada de diafragma N y tiempo t para una exposición correcta.

Las cámaras de móviles modernas, sólo miden la luz que se refleja en el sujeto, pero no la que se proyecta sobre él. Por eso la cámara del móvil por sí sola no puede medir la luz incidente en cada una de las partes del encuadre.

Existen exposímetros manuales, que permiten tener un mayor control al hacer la toma y medir la luz en puntos específicos. Estos exposímetros miden tanto la luz reflejada como la incidente.

Los principales modos de medición del exposímetro de la cámara son los siguientes:

#### **Medida matricial.**

Nació en 1983 a través del modelo "FA" de Nikon . Este presenta el sistema AMP (Advance Multi Pattern ). Este sistema se basa en una "matriz" que posee uno o varios sensores, que dividen la escena en varios segmentos, deduciendo la luz que hay en cada uno de ellos, El procesador integrado calcula el promedio de todos los segmentos, infiriendo la medición total. En la actualidad, algunas cámaras dividen la escena en más segmentos, llegando en las cámaras profesionales a 16 segmentos.



**Matricial**

#### **Medida puntual.**

Se mide la cantidad de luz que incide en una región muy pequeña del sensor, abarcando aproximadamente un 3% de la escena. Coincide aproximadamente con el cuadrado que suele indicar el enfoque en el sensor. El resto de la escena no se mide.



**Puntual**

#### **Medida ponderada.**

Es el método, también conocido como promediado al centro, equilibra algo más los valores de medición. Da mucho más peso a la luz que mide en el centro (con el sistema puntual), pero también tiene en cuenta los valores que recoge de la zona externa a esa superficie más interior. Con este modo se tiene en cuenta la luz que llega a toda la superficie del sensor, aunque tiene un mayor peso en el cálculo la luz de la zona central.



**Ponderada  
al Centro**

### **4.7. El balance de blancos.**

Los colores registrados por la cámara digital dependen de la fuente de iluminación. La luz que entra por el diafragma y registra el sensor no es siempre la misma. Puede ser natural o artificial, existiendo subtipos que dependen de una serie de características diferenciadoras. Una de ellas es la temperatura de color.

La temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Se trata de un cuerpo teórico, el cual no absorbe ni refleja ninguna frecuencia lumínica, es capaz de irradiar luz según aumenta de temperatura. A cada temperatura a la que se caliente dicho cuerpo emitirá una determinada longitud de onda (color) que tendrá una energía máxima. Lo más parecido a dicho cuerpo son las estrellas, aunque éstas absorben una cierta cantidad de luz de diversos colores según sea su

composición. De hecho, analizando el espectro de colores de la luz emitida por una estrella, se puede averiguar su temperatura y su composición en base a las líneas ausentes en el mismo.

La temperatura de color se mide en Kelvin, según una norma que sitúa en 5.500 K la luz del día teóricamente perfecta. Para días nublados, la temperatura del color sube (se produce una dominancia del azul) hasta los 12.000 K, mientras que en el interior de una casa con iluminación artificial esa temperatura baja a unos 2.500 K, con una dominancia del rojo. Por tanto, cuanto más cálida sea la luz (amarillo-rojo) más baja será la temperatura de color y cuanto más fría (azul), más alta la temperatura de color.



Figura 16: Temperatura de color en escala Kelvin.

Fuente: [http://miracled.es/index.php?route=information/information&information\\_id=8](http://miracled.es/index.php?route=information/information&information_id=8)

Las cámaras digitales tienen una opción de configuración que permite indicar distintos modos de balance de blancos, que varían la manera por la cual se percibe la temperatura del color, ajustando los niveles de los colores básicos (RGB - Red, Green, Blue), en función de las distintas condiciones de iluminación como pueden ser fotografías a la luz del día con días soleados, días nublados, iluminación artificial por bombillas incandescentes (tungsteno), o luz fluorescente, etc...

## 4.8. Espacios de color

Un espacio de color es un rango de colores definido que captura la cámara. Los espacios de colores bien documentados incluyen sRGB, AdobeRGB y ProPhotoRGB.

El sistema visual humano no es un sensor RGB simple pero se puede aproximar cómo responde el ojo humano al diagrama de cromaticidad CIE 1931 que muestra la respuesta visual humana con una forma de herradura.

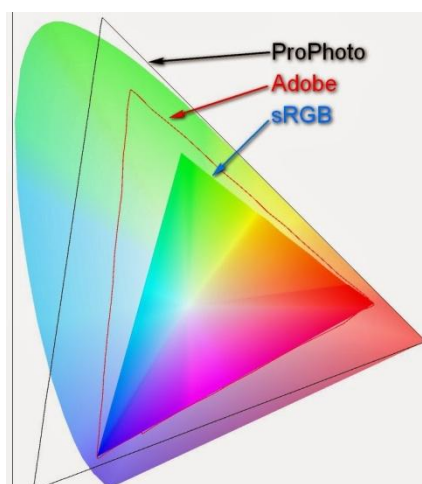


Figura 17. Comparativa de distintos espacios de color y la percepción de color del ojo humano. Fuente: <http://photodiaspora.blogspot.com.es/>

En la figura se observa que en la visión humana se detectan muchos más tonos de verde que de azul o rojo.

El sistema **sRGB** fue definido por las empresas Hewlett Packard y Microsoft pensando sobre todo en las fotografías que se visualizan por Internet, ya que asume un promedio del espectro de color que suelen reconocer los monitores, con la salvedad de aquellos de gama alta que lo superan .

El sistema **AdobeRGB** está especialmente indicado para la edición de fotografías e imágenes de alta calidad y para su posterior conversión a CMYK. CMYK es el modelo de gestión de color utilizado por la mayoría de imprentas. Por ello, AdobeRGB parece más apropiado para gestionar fotografías que van a ser impresas para publicaciones, exposiciones, etc.

El sistema **ProPhoto** es espacio de color con mayor riqueza tonal y se usa frecuentemente para archivar documentos. Puede codificar casi todo el rango de colores detectados por el ojo humano e incluso codificar colores que el ojo humano no puede detectar.

## **4.9. Análisis de parámetros de calidad**

### **4.9.1. La resolución.**

Se define la resolución como la capacidad del sistema para mostrar los detalles más pequeños de la imagen. La riqueza de detalles que puede ser resuelta por la cámara fotográfica depende de la habilidad de esta para hacer que los puntos del objeto que están muy cercanos aparezcan en la imagen como puntos separados. Mientras más corta sea la distancia entre esos puntos del objeto, más finos serán los detalles. La distancia mínima de separación entre esos dos puntos  $y'_{\min}$  se conoce como Límite de Resolución o Poder de Resolución y puede ser utilizada como un indicador de calidad de la cámara fotográfica.

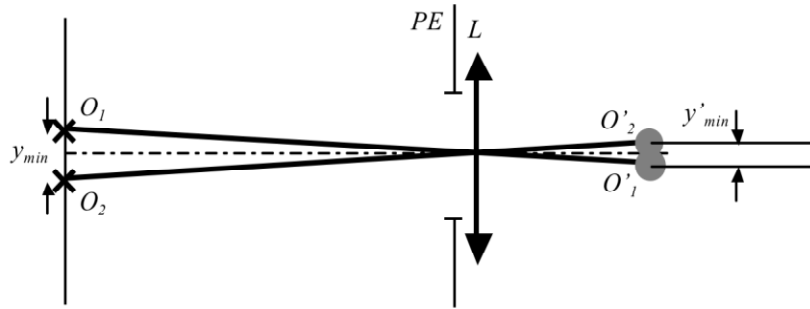


Figura 18. Límite de resolución

Los dos elementos que más influyen en la resolución de la cámara fotográfica son el objetivo y el sensor. El objetivo a través de sus aberraciones y el sensor debido a su mestreo espacial.

#### 4.9.1.1. Resolución del objetivo.

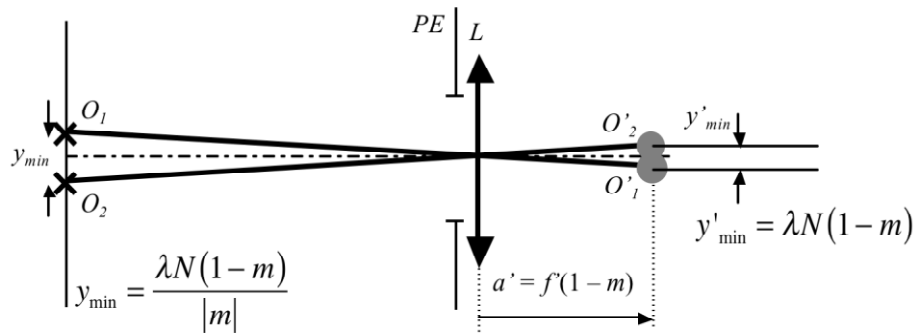


Figura 19. Límite de resolución de un objetivo fotográfico

En un objetivo fotográfico cuyas aberraciones ópticas estén corregidas hasta difracción la resolución lineal  $y'_{min,o}$  del objetivo en el plano del sensor se expresa como<sup>1</sup>:

$$y'_{min,o} = \lambda N(1 - m)$$

Mientras que la resolución lineal  $y_{min,o}$  en el espacio objeto es:

$$y_{min,o} = \frac{y'_{min,o}}{|m|} = \frac{\lambda N(1 - m)}{|m|}$$

Donde  $m$  es el aumento lineal entre el objeto y la imagen.

Si consideramos la resolución frecuencial  $u'_{L,o}$  su expresión viene dada por<sup>1</sup>:

$$u'_{L,o} = \frac{1}{\lambda N(1 - m)} \frac{pl}{mm}$$

<sup>1</sup> J. Escofet. "La càmera fotogràfica". Apuntes de la asignatura "Óptica Geométrica y Instrumental". Facultad de Óptica y Optometría. Terrassa.

Cuyo valor conjugado en el espacio objeto es:

$$u_{L,o} = \frac{|m|}{\lambda N(1-m)} \frac{pl}{mm}$$

#### 4.9.1.2. Resolución del sensor

Consideremos un sensor formado por un mosaico de fotodiodos o píxeles cuadrados iguales entre sí según se muestra en la figura 20.

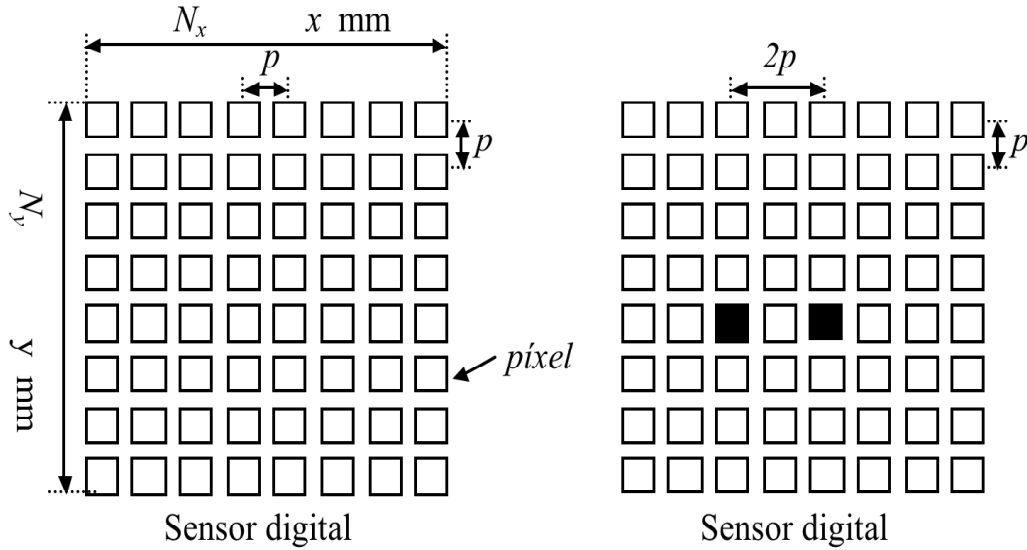


Figura 20. Esquema de sensor digital y resolución.

Sea  $p$  la distancia entre dos píxeles contiguos (pixel pitch). Sean  $x$  e  $y$  las dimensiones lineales del sensor en las direcciones horizontal y vertical respectivamente y sean  $N_x$  y  $N_y$  el número de píxeles en las direcciones anteriores.

Dos puntos serán resueltos cuando su posición en la matriz de píxeles esté separada una distancia  $2p$ .

$$y'_{min,S} = 2p$$

El valor de  $p$  se obtiene según se muestra la figura 20:

$$p = \frac{x}{N_x} mm = \frac{y}{N_y} mm$$

La resolución lineal del sensor  $y_{min,S}$  en el espacio objeto es:

$$y_{min,S} = \frac{y'_{min,S}}{|m|} = \frac{2p}{|m|}$$

Si consideramos la resolución frecuencial  $u'_{L,S}$  su expresión viene dada por<sup>1</sup>:

$$u'_{L,O} = \frac{1}{2p} \frac{pl}{mm}$$

Cuyo valor conjugado en el espacio objeto es:

$$u_{L,O} = \frac{|m|}{2p} \frac{pl}{mm}$$

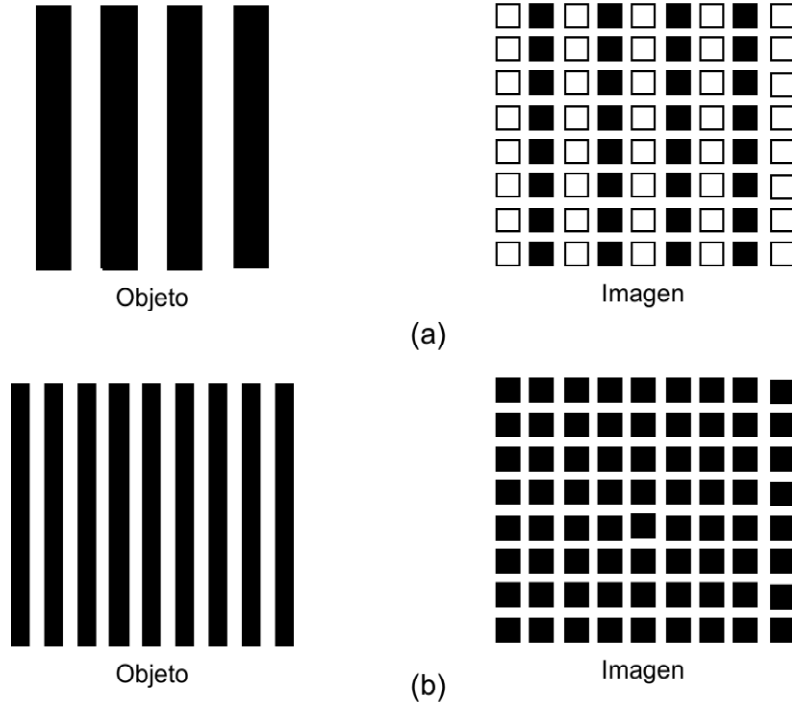


Figura 21. (a) El sensor resuelve la frecuencia del objeto. (b) El sensor no resuelve la frecuencia del objeto.

La resolución de la cámara fotográfica  $y'_{min}$  viene dada por la peor resolución del sistema objetivo sensor, de este modo:

$$y'_{min} = \max \{y'_{min,O}; y'_{min,S}\} = \max \{\lambda N(1-m); 2p\}$$

Que expresado en el espacio objeto será:

$$y_{min} = \max \{y_{min,O}; y_{min,S}\} = \max \left\{ \frac{\lambda N(1-m)}{|m|}; \frac{2p}{|m|} \right\}$$

Si los valores se expresan como frecuencias tendremos que la frecuencia límite en el espacio imagen  $u'_L$  viene dada por:

$$u'_L = \min \{u'_{L,O}; u'_{L,S}\} = \min \left\{ \frac{1}{\lambda N(1-m)}; \frac{1}{2p} \right\}$$

Y en el espacio objeto:

$$u'_L = \min\{u'_{L.O.}; u'_{L.S.}\} = \min\left\{\frac{|m|}{\lambda N(1-m)}; \frac{|m|}{2p}\right\}$$

#### 4.9.2. La función de transferencia de la modulación

La función de transferencia de contraste (MFT, modulation transfer function) permite ver que alteraciones sufren las variables frecuencia y modulación por el paso de la luz por cada componente del sistema fotográfico. Todos estos componentes tienen su propia función de transferencia de contraste.

El contraste es la diferencia de tonalidad con la que se registra, percibe o reproduce un par de líneas, negra y blanca. El contraste es máximo, del 100%, cuando se consigue distinguir ambas líneas perfectamente, como una línea puramente negra y una línea puramente blanca. Pero cuando el contraste es menor se ven dos líneas grises, pero de intensidades diferentes.

Resolución y contraste son las dos caras de la misma moneda. Cuando el contraste cae por debajo de cierto nivel no se percibe detalle (se necesita al menos un 5% de contraste para percibir algún detalle, aunque un 15-20% debe considerarse un mínimo razonable en la práctica). Por otra parte, el detalle se muestra de forma más clara y nítida cuanto más alto es el contraste. En la figura 22 se puede observar que al menor contraste, menos clara es la separación de líneas.

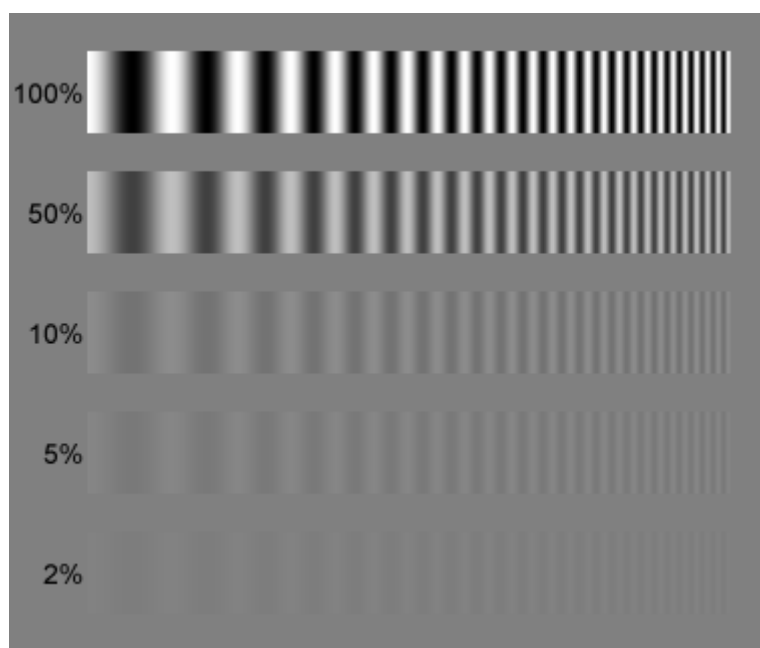


Figura 22. Contraste y nitidez de imagen  
Fuente: <http://www.normankoren.com/Tutorials/MTF.html>

Las funciones de transferencia de contraste (MTF) muestran una relación inversa entre sus principales variables, es decir, el contraste se reduce conforme aumenta la resolución. Esto quiere decir simplemente que el objetivo tiene dificultad en distinguir nítidamente los detalles cuanto más finos son éstos. También se produce una pérdida de contraste cuando se aleja del centro de la imagen, que en algunos casos puede llegar a ser sustancial. De hecho, las MTF se

representan como curvas que muestran, para cada abertura y distancia focal de un objetivo, y en un punto concreto de la imagen, la relación decreciente entre contraste (en tantos por uno) y resolución espacial (en pares o ciclos por milímetro). Pero también pueden presentarse gráficamente como una curva que relaciona contraste (en tantos por uno) y distancia respecto del centro de la imagen (en milímetros), para resoluciones escogidas (en pares por milímetro, suelen ser 5 lp/mm, 10 lp/mm, 20 lp/mm, 30 lp/mm y 40 lp/mm, o cualquier selección de esos números, pues son las determinantes de la calidad percibida en impresiones de tamaño moderado, tradicionalmente cercano a un A4, a una abertura y distancia focal determinadas, en la dirección sagital (radial) y tangencial (hay por tanto dos MTF para cada punto de la imagen)).

La resolución y el contraste final de la imagen resultante dependerá de las MTF de cada eslabón del proceso. La figura 23 es una ilustración de esta idea:

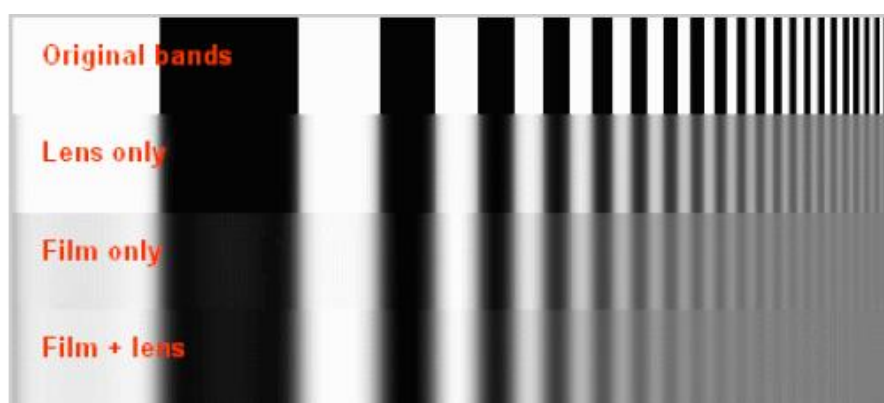


Figura 23. Contraste y resolución de los diferentes eslabones de la cadena de imagen  
Fuente: <http://www.normankoren.com/Tutorials/MTF.html>

Existen diferentes modos de medir la MTF de un sistema. En nuestro caso el método utilizado es método del borde inclinado (Figura 24). Para ello se traza un perfil del borde conocida como ESF del inglés Edge Spread Function. La derivada de este perfil proporciona la LSF (Line Spread Function) que equivale a la imagen de un punto. La Transformada de Fourier de la LSF proporciona la MTF.

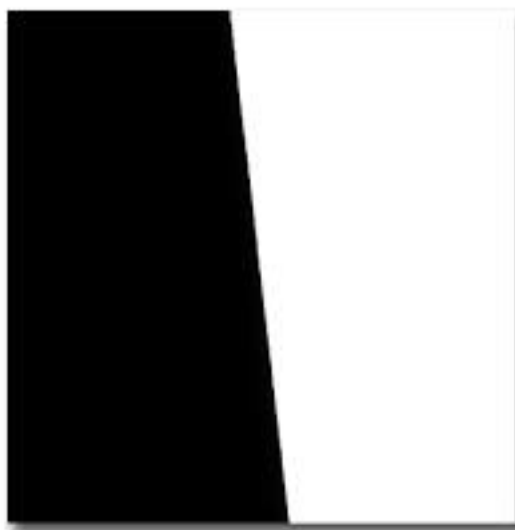


Figura 24. Test del borde inclinado.



### **4.9.3. La relación señal ruido para diferentes ISO.**

El ruido digital es la variación aleatoria del brillo o el color en las imágenes digitales producido por el dispositivo de entrada (la cámara digital en este caso).

El ruido en fotografía digital se refiere a los puntos de color repartidos al azar en la imagen obtenida, especialmente en las áreas de sombra y zonas monocolor. El ruido de las fotografías digitales es habitualmente comparado con el grano de la película fotosensible.

Como ya se ha definido anteriormente, un sensor está compuesto por una malla de celdas fotosensibles, encargadas de recibir la imagen formada por las lentes de la óptica de la cámara. Cada una de esas celdas contendrá uno o más fotodiodos con capacidad de convertir la luz en una señal eléctrica, para ser procesada como una imagen (color), es decir, será convertida a datos numéricos que se almacenarán en forma binaria en la memoria de la cámara para dar origen a un píxel. Lo cierto es que esa actividad eléctrica, en si misma, generará una cierta señal aun en ausencia de luz, que oscilará en relación con la temperatura, generando datos al azar, que originarán ruido.

La sensibilidad de cada uno de los píxeles del sensor es fija, correspondiéndose al valor más bajo de ISO que ofrece la cámara (generalmente 100 ISO). El aumento de la sensibilidad (200, 400, 800 ISO o más) no se logra por el incremento de la sensibilidad de los fotones, sino a través de la amplificación posterior de la señal que estos emiten.

Al capturar una señal luminosa débil (sombras, foto nocturna...), en el caso de amplificarla al hacer uso de un valor alto de ISO, se están ampliando los datos aleatorios (puntos de color dispersos por la toma) fruto de la actividad eléctrica del sensor; es decir, aumenta el ruido de la fotografía, que al mismo tiempo se verá incrementado con los tiempos largos de exposición (más de 2 segundos) y altas temperaturas.

La relación señal ruido (a menudo abreviado como SNR o S/R) es una medida de ingeniería electrónica que define la relación entre la potencia de una señal con la potencia del ruido que la corrompe.

En términos menos técnicos, la relación señal ruido compara el nivel de una deseada señal (como imagen) con el nivel del ruido. Cuanto más alto es el valor de esta relación, menos molesto es el ruido. En general cuanto más alta es la señal sobre el ruido mejor; la señal es más clara.

Los fotones capturados por un sensor siguen una distribución aleatoria. Por tanto, la raíz cuadrada del número de fotones captado es ruido, es decir, fotones que han caído en la celda por error. Es lo que se conoce como 'photon noise' o 'shot noise'. El tamaño de la celda determina el número de fotones capturados en un período determinado, y cuantos más fotones son atrapados mayor será la razón señal-ruido. En efecto, si se capturan 400 fotones 20 son de ruido (5% del total), la razón señal ruido será de  $400/20=20$ . Pero si la captura es de sólo 16 fotones 4 serán ruido (el 25%), y la razón señal ruido será igual a  $16/4=4$ , mucho menor.

### **4.9.4. El rango dinámico.**

El rango dinámico es un concepto físico aplicable a cualquier señal que varíe en función de una determinada variable independiente. Mide la relación existente entre los valores máximo y

mínimo que la amplitud de dicha señal adquiere para todo el conjunto de posibles valores de la variable de la que depende.

El rango dinámico se expresa de forma relativa como el cociente entre las amplitudes máxima y mínima que alcanza la señal. De ese modo se constituirá como una magnitud adimensional que indica cuanto mayor es la luminosidad máxima de la imagen o escena respecto a la menor luminosidad presente en la misma.

Existen dos formas de expresión del rango dinámico: lineal y logarítmica. Si una imagen o escena cuya región más luminosa (altas luces) tiene un nivel o intensidad 10000 veces mayor que la región menos luminosa de la misma (sombras profundas), entre ambas habrá una relación lineal de luminosidades de 10000 a 1, es decir, un rango dinámico de 10000. Esta es la forma de expresarlo en una escala lineal. En la escala logarítmica del rango dinámico está directamente relacionada con los pasos de diafragma, denominados EV (Exposure Value).

El concepto de paso de diafragma consiste en la diferencia de valores de luminosidad donde uno es el doble de luminoso que el otro. Así para convertir una medida lineal de rango dinámico en diafragmas hay que calcular el logaritmo en base 2 de la medida lineal:

$$DR_{EV} = \log_2 DR_{lin}$$

Como el logaritmo en una base A cualquiera puede expresarse en función del logaritmo en cualquier otra base B con la expresión  $\log_A(x) = \log_B(x) / \log_B(A)$ , la fórmula de conversión vista podremos calcularla en función del logaritmo natural (neperiano) o del logaritmo en base 10 del modo siguiente:

$$DR_{EV} = \ln(DR_{lin}) / \ln 2 = \log_{10} DR_{lin} / \log_{10} 2$$

En este tipo de unidades subir un paso de diafragma (+1EV) equivale a duplicar la luminosidad, mientras que bajar un paso (-1EV) implica pasar a la mitad de la luminosidad original, percibiendo el ojo humano cualquiera de estos dos incrementos como de la misma magnitud.

Una representación del rango dinámico mucho menos habitual es a través de los decibelios (dB). Una relación de potencias luminosas se representa en términos de tensión con un factor 20 mediante la expresión:

$$DR_{db} = 20 * \log_{10} DR_{lin}$$

Al ser ambas (EV y dB) unidades logarítmicas, puede establecerse una correspondencia rápida entre ellas:

#### **1EV o paso de diafragma = 6dB**

En el sensor el rango dinámico tiene sus limitaciones. Por el extremo superior el rango dinámico del sensor viene limitado por la saturación del mismo. Como cualquier dispositivo electrónico, en la zona inmediatamente previa a la saturación el sensor empieza a tener ciertos comportamientos alineales. Pero esta zona de comportamiento indeseado es tan reducida en términos de rango dinámico, y la información que una escena depositará normalmente en ella es tan limitada, que se puede considerar que el límite superior utilizable del sensor es la propia saturación.

Sin embargo queda delimitar las prestaciones del sensor en el extremo contrario, es decir las sombras, lugar en el que nos encontramos con dos parámetros determinantes: el número de bits en que se codifica el archivo RAW y el ruido.

El sensor codifica las señales luminosas en valores de N bits, lo que da lugar a un rango limitado de posibles niveles enteros para representar cada nivel de luminosidad recibida. Por ejemplo para sensores de 12 bits el número de niveles lineales disponibles será como mucho de  $2^{12}=4096$ , dando lugar así a un rango entre 0 y 4095.

Con la linealidad y bits conocidos es posible calcular cuántos diafragmas van a poder entrar en el rango dinámico del sensor así como el número de niveles que van a dedicarse a codificar cada uno de dichos diafragmas.

El nivel máximo de señal admisible generará en el caso más favorable un nivel 4095. Si ahora la exposición se reduce en 1EV, por la relación lineal expresada anteriormente el límite inferior de este diafragma superior caerá en el nivel mitad del máximo, es decir en el nivel 2048. Si se subexpone 1EV adicional tendremos que el límite inferior del segundo diafragma será la mitad de ese valor, es decir 1024. Y así sucesivamente hasta tener asignado un rango de niveles para cada uno de los diafragmas resultando la siguiente distribución:

- 0EV** (1er diafragma): 2048 niveles, 2048..4095
- 1EV** (2º diafragma): 1024 niveles, 1024..2047
- 2EV** (3er diafragma): 512 niveles, 512..1023
- 3EV** (4º diafragma): 256 niveles, 256..511
- 4EV** (5º diafragma): 128 niveles, 128..255
- 5EV** (6º diafragma): 64 niveles, 64..127
- 6EV** (7º diafragma): 32 niveles, 32..63
- 7EV** (8º diafragma): 16 niveles, 16..31
- 8EV** (9º diafragma): 8 niveles, 8..15
- 9EV** (10º diafragma): 4 niveles, 4..7
- 10EV** (11º diafragma): 2 niveles, 2..3
- 11EV** (12º diafragma): 1 nivel, 1

Como puede verse el rango de 12 bits es capaz de albergar un total de 12 diafragmas. Generalizando un sensor de N bits podrá registrar en una codificación lineal un máximo de N diafragmas. El rango dinámico que es capaz de codificar un sensor tiene por lo tanto un límite físico infranqueable de tantos diafragmas como bits codifiquen sus archivos RAW (12, 14, 16,...). Sería incorrecto afirmar que el rango dinámico de un sensor digital equivale al número de bits que contienen sus archivos RAW. Y esto es debido a la insuficiencia de niveles con que son representados los diafragmas más bajos. Esta escasez de niveles conduciría a problemas de posterización en las sombras en el caso de usarlos para albergar información útil. No hay un criterio definido que determine la cantidad de tonos necesarios en la representación de un diafragma dado. Como criterio subjetivo propuesto se considera que 16 niveles tonales por diafragma es el mínimo exigible para tener una calidad de representación suficiente en estos diafragmas inferiores.

Según este baremo los 4 diafragmas más bajos de cualquier codificación lineal no dispondrían de una variedad tonal suficiente para codificar la información por lo que una cámara con N bits en sus archivos RAW tendría un rango dinámico máximo por este concepto de N-4 diafragmas.

Así una cámara de 12 bits dispondría de 8 diafragmas, una cámara de 14 bits de 10 diafragmas y una cámara de 16 bits de 12 diafragmas.

Una característica típica de los sensores digitales es la de captar la imagen con una peor relación señal a ruido cuanto menor es el grado de exposición. En una escena de un rango dinámico determinado, las partes del sensor correspondientes a las zonas más oscuras de la misma resultarán con una exposición menor, y por lo tanto con una peor relación señal a ruido.

Cuando se hace lo bastante grande en relación a la señal, este ruido enmascara la imagen útil destruyendo las texturas que se quiere captar. Es precisamente esta destrucción de texturas o interferencia del ruido en las sombras la que delimita el rango dinámico útil del sensor en los diafragmas bajos (en los diafragmas altos como ya se ha acordado el único límite es la saturación).

#### **4.9.5. Reproducción del color.**

Todos los métodos de fotografías en colores que se usan actualmente se basan en el hecho de que todos los colores de la naturaleza pueden ser reproducidos, en la medida de que el ojo puede percibirlos, por medio de mezclas apropiadas de tres colores primarios: rojo, verde y azul. La imagen de cualquier objeto coloreado puede ser reproducida fotográficamente por una combinación de tres imágenes: una que registra la sensación de rojo, otra que registra la sensación de verde y la tercera que registra la sensación azul. La combinación de las tres imágenes puede realizarse por una proyección de transparencias en una linterna triple o usando un instrumento apropiado para verlas. Sin embargo, casi todos los métodos de fotografía en colores realizan la combinación por superposición de capas de colorantes de los colores apropiados.

Los procedimientos de fotografía en colores se dividen en aditivos y sustractivos. En el procedimiento aditivo, un color que se quiere reproducir es sintetizado sumando las cantidades apropiada de rojo, verde y azul. En el procedimiento sustractivo, mas comúnmente usado, se obtiene el color deseado sustrayendo los colores no deseados de la luz blanca. La imagen coloreada se compone de tres capas de colorantes superpuestas: una, la azul-verde o ciano, que resulta de sustraer el rojo a la luz blanca, una capa magenta, por sustracción del verde, y la tercera, amarilla, por sustracción del azul. La reproducción de un color por cualquier procedimiento no dará, en general, la misma distribución de luz que el original, pero la reproducción será satisfactoria si parece al ojo que es substancialmente el mismo color que el original. La duplicación exacta no se consigue, ya que no se dispone de colorantes de absorción espectral ideal y es necesario hacer compromisos entre los disponibles sobre la base de la estabilidad y la practicidad de la producción.

Aunque el proceso de adquisición de las imágenes color resulta ser más complejo, este tipo de cámaras pueden proporcionar más información que las cámaras monocromos. Hay dos tipos de arquitectura: 1CCD o 3CCD.

Las cámaras color de 1 CCD incorporan un sensor con un filtro en forma de mosaico que incorpora los colores primarios RGB. Este filtro de color es conocido como filtro Bayer. De hecho, el sensor es monocromático al que se le ha superpuesto el filtro de color. La forma en que se disponen los colores R, G y B es como se muestra en la figura 25. Como se puede ver

hay el doble de píxeles con filtro verde que con filtro azul o rojo. Efecto éste necesario para hacer más semejante la percepción del sensor a la visión humana que es más sensible al verde.

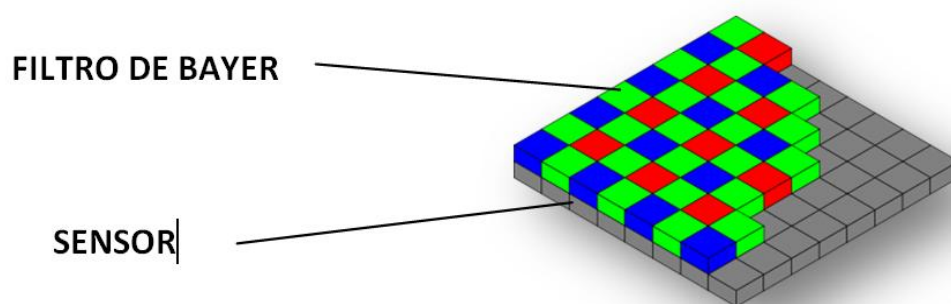


Figura 25: 1CCD con filtro de Bayer.

Fuente: <http://enfocodiferenciado.blogspot.com.es/2011/09/principios-basicos-de-la-luz-la.html>

Debido al carácter del propio filtro es evidente que en los píxeles donde se sitúa el filtro rojo, no tienen señal ni de verde ni de azul. Para subsanar la falta de estos colores en estos píxeles, se construye una señal RGB a partir de los píxeles adyacentes de cada color. Este cálculo se realiza en el interior de la cámara mediante un DSP específico, que permite realizar la operación en tiempo real y dependiendo de la cámara permite obtener una señal analógica o digital en RGB (o en PAL o Y/C) en su caso.

Las cámaras de color 3CCD incorporan un prisma y tres sensores. La luz procedente del objeto pasa a través de la óptica y se divide en tres direcciones al llegar al prisma. En cada una de los tres extremos del prisma se encuentra un filtro de color (rojo, verde y azul) y un sensor que captura la luz de cada color que viene del exterior (figura 26).

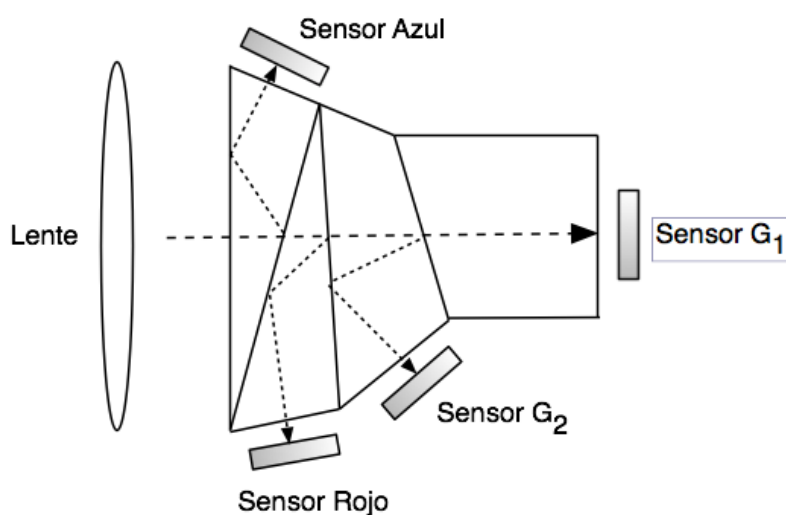


Figura 26: Cámara de color CCD.

Fuente: <http://tilanotv.es/general/diferentes-tipos-en-la-separacion-optica-del-color/>

Internamente la cámara combina los colores y genera una señal RGB similar a la que ve el ojo humano. La fidelidad de las imágenes de las cámaras de 3CCD es muy superior a las de las cámaras de 1 CCD, pero hay un par de inconvenientes inherentes al sistema. Por una parte este tipo de cámaras requieren más luz debido a que el prisma hace que sea menor la cantidad de iluminación que incide sobre los sensores, y por otra se genera un efecto de aberración cromática debida a la propia estructura del prisma. Este efecto puede ser subsanado colocando las ópticas diseñadas específicamente para este tipo de cámaras.

## 5. SLR VERSUS SMART PHONE CÁMARA.

### 5.1. Diseño y manejo.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
 <p>Figura 27. Cámara EOS 550D con objetivo EFS 18-55 Fuente: <a href="http://www.canon.es/">http://www.canon.es/</a></p>	 <p>Figura 28. Cámara que lleva acoplada el móvil Samsung Galaxy S4. Fuente: <a href="http://www.xatakamovil.com">http://www.xatakamovil.com</a></p>

La cámara Canon es una cámara réflex, el usuario puede ver directamente la imagen a fotografiar a través de un visor óptico. La luz entra en la cámara a través del objetivo, es reflejada en un espejo, y a través del mismo la imagen llega hasta el visor. En cambio la cámara del Smartphone Samsung no es réflex porque el visor se encuentra en la pantalla del móvil. La imagen que se observa en la pantalla no es directa.

### 5.2. Objetivo.

El objetivo de la cámara Canon es más complejo, es un conjunto de lentes cuya reorganización, como se ve en la figura, permite variar las distancias focales entre 18 y 55 mm. La abertura máxima del diafragma varía entre  $f/3.5$  para  $f' = 18$  mm y  $f/5.6$  para  $f' = 55$  mm.

El objetivo de la cámara Samsung es fijo y no tiene tanta complejidad óptica de la cámara Canon. La distancia focal de la lente que forma el objetivo vale 4,2 mm (equivalentes a 31 mm). La abertura de diafragma tampoco varía, es la máxima y su valor es  $f/2.2$ .

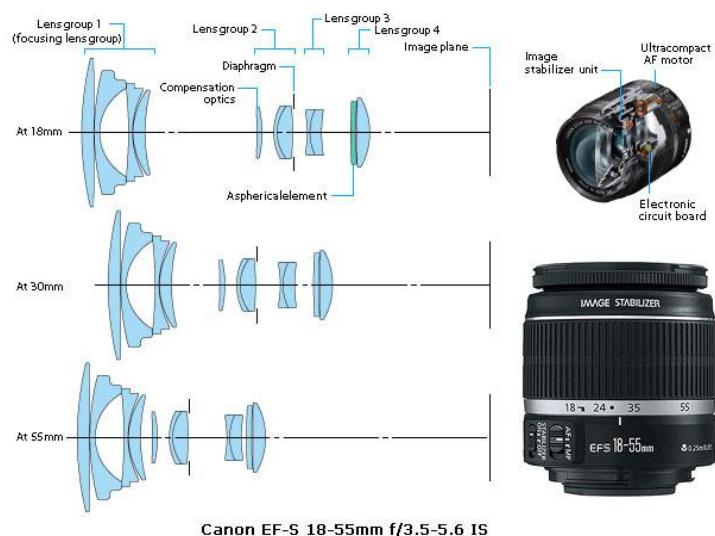


Figura 29. Un objetivo zoom estándar con la disposición de sus lentes a diferentes focales. Fuente: <http://www.decamaras.com/CMS/content/view/861/61-Tipos-de-objetivos-fotograficos-Guia-teorica-y-practica>

### 5.3. Aumentos ópticos.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
3x	No

Como el objetivo de la cámara de foto Canon permite cambio de la distancia focal, los aumentos ópticos que produce dependen de la relación entre su distancia máxima y mínima. El objetivo utilizado varia la distancia focal entre 18 y 55 mm, lo que significa que se puede conseguir hasta  $55/18 = 3$  aumentos ópticos.

La cámara móvil utilizada tiene la distancia focal fija, por lo que no produce aumentos ópticos.

### 5.4. Aumentos digitales.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
No	4x

Como se ha visto anteriormente, los aumentos digitales se consiguen mediante un programa incluido en la cámara que agranda la imagen. La cámara Canon no tiene este tipo de software y por eso no permite zoom digital. En cambio la cámara de móvil tiene zoom digital de 4 aumentos.

### 5.5. Numero de diafragma.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
$f' = 18 \text{ mm } f/3.5 \dots f/22$ $f' = 55 \text{ mm } f/5.6 \dots f/38$	$f/2.2$

### 5.6. Shutter (velocidad de disparo).

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
<ul style="list-style-type: none"><li>• Focal-plane shutter</li><li>• 30 - 1/4000 sec (0.5 or 0.3 EV steps)</li><li>• Flash X-Sync: 1/200 sec</li><li>• Bulb</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• No tiene</li><li>• 1/14-1/10000</li></ul>

### 5.7. Autoexposure bracketing.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
<ul style="list-style-type: none"><li>• +/- 2.0 EV (3 disparos)</li><li>• 0.5 or 0.3 EV incrementos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>No tiene</li><li>High Dynamic Range mode (HDR)</li></ul>



## 5.8. Sensor.

Las características principales de los sensores que se utilizaron para este estudio se encuentran en la tabla siguiente:

	Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
Tipo de sensor	CMOS	CMOS
Tamaño del sensor, mm	22.3x14.9	4.69x3.52
Diagonal sensor, mm	26.8	5.86
Numero de pixeles del sensor	18 Mp	13 Mp
Tamaño de pixel	18.5 $\mu\text{m}$	1.14 $\mu\text{m}$
Factor recorte (FR)	1.6	7.38
Relación de aspecto (RA)	3:2	4:3
Formatos de imagen	RAW, JPG	JPG
Sensibilidad ISO	AUTO (100-6400)	AUTO (100-800)

## 5.9. Campo Angular.

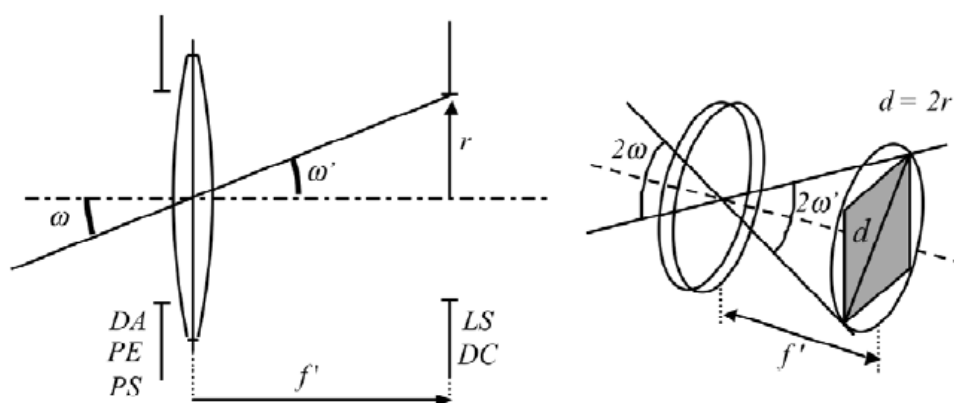


Figura 30. Campo angular de una cámara fotográfica.

Tal como se ha descrito anteriormente el campo angular depende de la focal del objetivo  $f'$  y del tamaño del sensor (diagonal  $d$ ). Se calcula según la fórmula:

$$\tan \omega = \tan \omega = \frac{r}{f'} = \frac{d}{2f'}$$

	Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
Campo angular	$f' = 18 \text{ mm}; 2\omega = 73,3^\circ$	$f' = 4,2 \text{ mm}; 2\omega = 69,8^\circ$
	$f' = 55 \text{ mm}; 2\omega = 27,4^\circ$	



## 5.10. Distancia hiperfocal.

Calculamos la distancia hiperfocal aplicando la formula:

$$H = \frac{f'^2}{N * c}$$

Canon EOS 550D Rebel T2i	Samsung Galaxy S4
FR = 1,6	FR=7,38
$c=c_0/FR=0,030/1,6=0,019$ mm	$c=c_0/FR=0,030/7,38=0,0041$ mm
$H = \frac{f'^2}{Nc} = \frac{18^2}{3,4(0,019)} = 5,015 \text{ mm} \approx 5 \text{ m.}$ $H = \frac{f'^2}{Nc} = \frac{55^2}{5,6(0,019)} = 28,4 \text{ m}$	$H = \frac{f'^2}{Nc} = \frac{4.2^2}{2,2(0,0041)} = 1,96 \text{ m}$

## 5.11. Menús.

SLR Canon EOS 550D.

La relación de menús es muy variada. A continuación, y a modo de ejemplo, se muestran algunas de ellas.

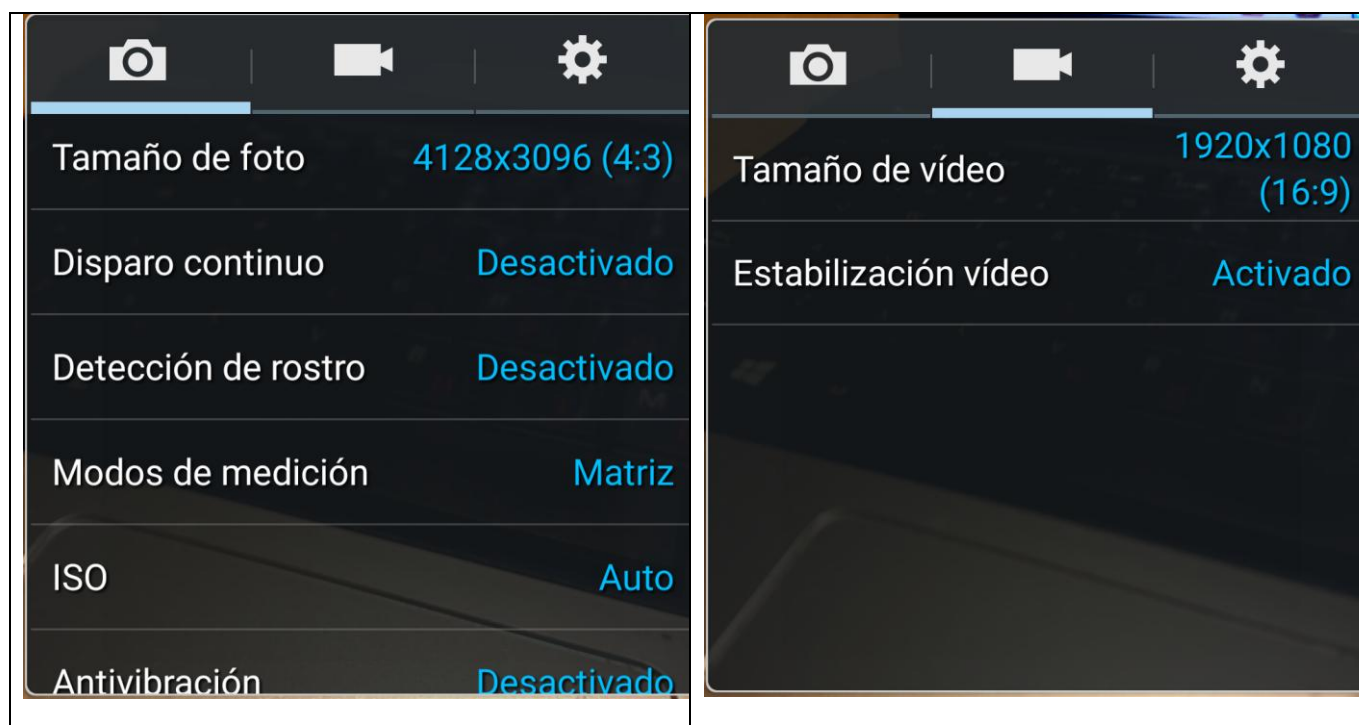
 <p>Quality </p> <p>Beep  Enable</p> <p>Release shutter without card </p> <p>Image review  Hold</p> <p>Peripheral illumin. correct. </p> <p>Red-eye reduc.  Disable</p> <p>Flash control </p>	 <p>Expo.comp./AEB  -2...1...0...1...2</p> <p>Auto Lighting Optimizer </p> <p>Metering mode </p> <p>Custom White Balance </p> <p>WB Shift/BKT  0,0/±0</p> <p>Color space  sRGB</p> <p>Picture Style  Faithful</p>	 <p>Dust Delete Data </p> <p>ISO Auto  Max.:3200</p>
 <p>Movie rec. size  Crop  640 50</p> <p>AF mode  Live mode</p> <p>AF during  Enable</p> <p>Shutter/AE lock button </p> <p>Remote control  Disable</p>	 <p>Movie exposure  Auto</p> <p>Grid display  Off</p> <p>Metering timer  30 min.</p> <p>Sound recording  On</p>	 <p>Protect images </p> <p>Rotate </p> <p>Erase Images </p> <p>Print order </p> <p>Slide show </p>



Figura 31. Ejemplo de menú de la cámara Canon EOS 550D Fuente: <http://www.imaging-resource.com/PRODS/T21/T21MENUS.HTM>

#### Samsung Galaxy S4.

El menú de la cámara móvil se divide en tres partes: opciones de la cámara fotográfica, video y opciones generales. A continuación se representa un ejemplo del menú:



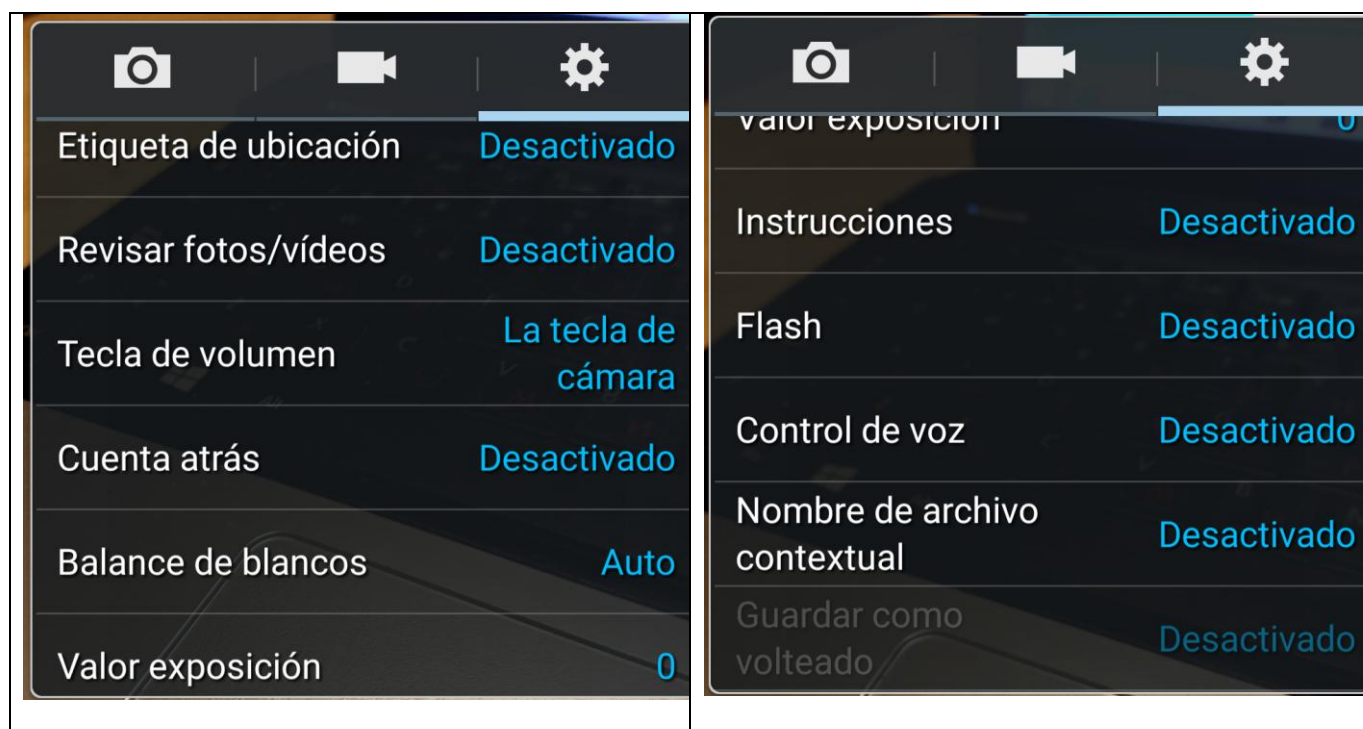


Figura 32. Ejemplo de menú del Smartphone Samsung Galaxy S4

En la pantalla del móvil se encuentran las opciones de cambio de la cámara, que permite realizar fotos de la cámara principal o frontal del teléfono. Otra opción del menú es la posibilidad de visualizar imágenes de ambas cámaras en la misma pantalla. Al lado del botón de disparo hay un botón que permite elegir el modo de fotografiado.

También, se puede encontrar un botón para poder acceder al menú de opciones de la cámara que incluye la siguiente información:

Opciones de foto:	Opciones de video:	Opciones:
Tamaño de foto Disparo continuo Detección de rostro Modos de medición ISO Antivibración Detección automática de noche Guardar como	Tamaño de video Estabilización vídeo	Etiqueta de ubicación Revisar fotos/vídeos Tecla de volumen Cuenta atrás Balance de blancos Valor exposición Instrucciones Flash Control de voz Nombre de archivo Restablecer

## 5.12. Modos de fotografiado.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
Auto, retrato, paisaje, primer plano, deportes, retrato nocturno, flash desactivado, película, AE programada, AE con prioridad de obturador, AE con prioridad de abertura, manual, A-DEP	Autoretrato, beauty face, best photo, Best face, sound & shot, drama, foto animada, HDR, borrado, panorámica, deportes, noche.

### 5.13. Resolución.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5184 x 3456 <math>\approx</math> 18 MP</li> <li>• 3456 x 2304 <math>\approx</math> 8 Mp</li> <li>• 2592 x 1728 <math>\approx</math> 4.5 Mp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4128 x 3096 <math>\approx</math> 13 Mp</li> <li>• 4128 x 2322 <math>\approx</math> 9.6Mp</li> <li>• 3264 x 2488 <math>\approx</math> 8 Mp</li> <li>• 3264 x 1836 <math>\approx</math> 6 Mp</li> <li>• 2048 x 1152 <math>\approx</math> 2.4 Mp</li> </ul>

### 5.14. Balance de blancos.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance de blancos automático (AWB),</li> <li>• Luz del día</li> <li>• Sombra</li> <li>• Nublado</li> <li>• Tungsteno</li> <li>• Luz fluorescente blanca</li> <li>• Flash</li> <li>• Personalizado</li> <li>• Compensación de balance de blancos:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Azul/ámbar +/-9</li> <li>2. Magenta/verde +/-9.</li> </ol> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auto</li> <li>• Luz del día</li> <li>• Nublado</li> <li>• Incandescente</li> <li>• Fluorescente</li> </ul>

### 5.15. Medición de luz.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición TTL a plena apertura con SPC en 63 zonas</li> <li>• Evaluativa (relacionada con todos los puntos AF)</li> <li>• Medición parcial en el centro (aprox. 9% del visor)</li> <li>• Medición puntual (aprox. 4% del visor en el centro)</li> <li>• Medición promediada con preponderancia central</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centro-compensado</li> <li>• Matriz</li> <li>• Punto</li> </ul>

### 5.16. Enfoque.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
<ul style="list-style-type: none"> <li>• AF de 9 puntos.</li> <li>• Selección de punto AF automática y manual.</li> <li>• Modos de AF: Foto a foto, AI focus, AI servo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auto enfoque</li> <li>• Selección manual del punto de AF.</li> </ul>

## 5.17. Resolución de pantalla.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.0" 3:2 TFT LCD</li> <li>• 1040,000 pixels</li> <li>• Cobertura aproximada del 100%</li> <li>• 7 niveles de brillo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.0"</li> <li>• 1080 x 1920 = 2073,600 pixels</li> </ul>

## 5.18. Resolución de video.

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1920 x 1080 (1080p, 16:9) @ 30/25/24 fps</li> <li>• 1280 x 720 (720p, 16:9) @ 60/50 fps</li> <li>• 640 x 480 (4:3) @ 60/50 fps</li> <li>• Quicktime MOV format (H.264 video, linear PCM audio)</li> <li>• Grabación hasta 29 min 59 sec (o tamaño máximo de archivo 4 GB)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1920 x 1080p@30fps, dual-video rec (16:9)</li> <li>• 1440x1080 (4:3)</li> <li>• 1280x720 (16:9)</li> <li>• 320x240 (4:3)</li> </ul>

## 5.19. Medida de parámetros de calidad

### 5.19.1. Ruido

Medimos la cantidad de ruido a través de la relación señal ruido de una imagen.

Se define la relación señal ruido SNR de una cámara como el cociente entre el valor medio de intensidad de una imagen uniforme y la desviación estándar de los valores de intensidad.

Utilizaremos la formula:

$$SNR = \frac{\text{Valor medio}}{\text{Desviación estándar}}$$

Expresaremos el valor de SNR también en decibelios (dB) aplicando la formula:

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{\bar{x}}{std} \right)$$

Para medir el valor medio de la imagen se usa el programa de procesamiento de imágenes ImageJ. Realizamos fotografías del test de color con las dos cámaras de foto. Con cada toma de foto variamos el nivel de sensibilidad ISO. El ejemplo del test de color se da a continuación:



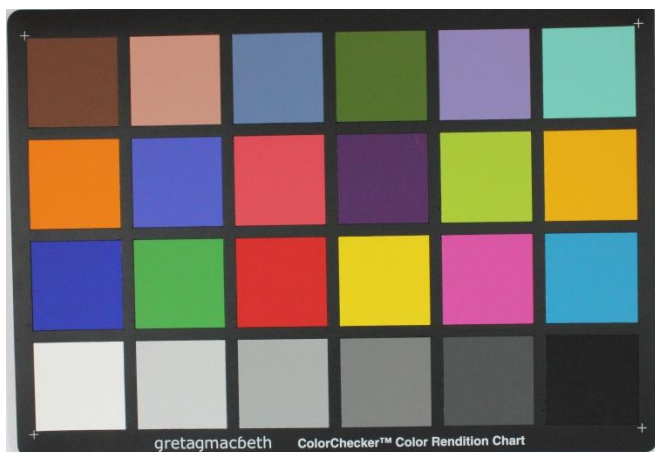


Figura 33. Test de color.

Después de realizar las fotografías, las últimas se pasan al formato de blanco y negro. Con el ImageJ determinamos el valor de la intensidad y de la desviación de estándar de los siguientes archivos:

Formato .tif (16 bits)		Formato .jpg (8 bits)	
IMG_7013_g.tif	100 ISO	IMG_7013.jpg	100 ISO
IMG_7014_g.tif	200 ISO	IMG_7014.jpg	200 ISO
IMG_7015_g.tif	400 ISO	IMG_7015.jpg	400 ISO
IMG_7016_g.tif	800 ISO	IMG_7016.jpg	800 ISO
IMG_7017_g.tif	1600 ISO	IMG_7017.jpg	1600 ISO
IMG_7018_g.tif	1600 ISO	IMG_7018.jpg	1600 ISO
IMG_7019_g.tif	3200 ISO	IMG_7019.jpg	3200 ISO
IMG_7020_g.tif	6400 ISO	IMG_7020.jpg	6400 ISO

Los archivos tif corresponden al formato RAW de la cámara Canon.

Con la cámara Samsung procesamos solo una imagen correspondiente al archivo 20160122\_113438.jpg con el ISO100. En las demás imágenes aparecen bandas lo que hace imposible realizar medidas. En la figura 34 se puede observar la diferencia de calidad de imagen hecha con ISO 100 y 400.



Figura 34. Ejemplos de fotos hechos por la cámara Samsung Galaxy S4 con ISO 100 y 400.

Tras obtener las medidas de valores de intensidad y desviación estándar de cada imagen calculamos SNR y SNR(dB) aplicando las formulas mencionadas anteriormente. Los resultados representamos gráficamente utilizando aplicación Excel. En el anexo 9.1 se observan las graficas de barras que corresponden al nivel del ruido que tiene cada parche de color cuando la sensibilidad ISO varía. También aparece la grafica comparativa entre SNR de la cámara Canon y Samsung de la imagen captada con ISO 100.

### 5.19.2. MTF

Uno de los parámetros que caracterizan un sistema óptico es la determinación de su poder resolutivo. Este límite se denomina el límite de la resolución o la frecuencia de Niquist, la máxima frecuencia de una señal que puede ser reproducida con una determinada frecuencia de muestreo y se expresa en pares de líneas por milímetro (lp/mm). El valor teórico se calcula según la fórmula:

$$f'_N = \frac{1}{2} \frac{pl}{\text{pixeles}}$$

Buscaremos el valor de la frecuencia Niquist para cada uno de los dispositivos:

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
$f'_N = \frac{1}{2} \frac{pl}{\text{pixeles}} =$ $= \frac{1}{2} \frac{pl}{\text{pixeles}} \frac{5184 \text{ pixeles}}{22.3 \text{ mm}} = 116 \frac{pl}{\text{mm}}$	$f'_N = \frac{1}{2} \frac{pl}{\text{pixeles}} =$ $= \frac{1}{2} \frac{pl}{\text{pixeles}} \frac{4128 \text{ pixeles}}{4.69 \text{ mm}} = 440 \frac{pl}{\text{mm}}$

La frecuencia limite difractiva es otro factor que limita la resolución del sistema óptico. Su valor se determina según la fórmula:

$$f'_{LD} = \frac{1}{\lambda N(1-m)^2}$$

Teniendo en cuenta que  $m \approx 0$ , entonces

$$f'_{LD} = \frac{1}{\lambda N}$$

Calculamos la frecuencia limite difractiva para cada dispositivo:

Canon EOS 550D	Samsung Galaxy S4
$f'_{LD} = \frac{1}{\lambda N} = \frac{1}{550 * 10^{-6} * 11} = 165 \frac{pl}{\text{mm}}$	$f'_{LD} = \frac{1}{\lambda N} = \frac{1}{550 * 10^{-6} * 2.2} = 826 \frac{pl}{\text{mm}}$

A la vista de los resultados obtenidos la resolución de las dos cámaras está limitada por el muestreo de la matriz del sensor.

Para comprobar en la práctica las resoluciones límite encontradas determinaremos la MTF utilizando el programa ImageJ con su método denominado SET (Slanted Edge Test o Test del borde inclinado). Para eso realizamos varias fotos del test con la cámara y con el teléfono móvil. Con la cámara Canon realizamos varias fotos con la distancia focal distinta, el móvil solo ofrece una distancia focal. El ejemplo del test es el siguiente:

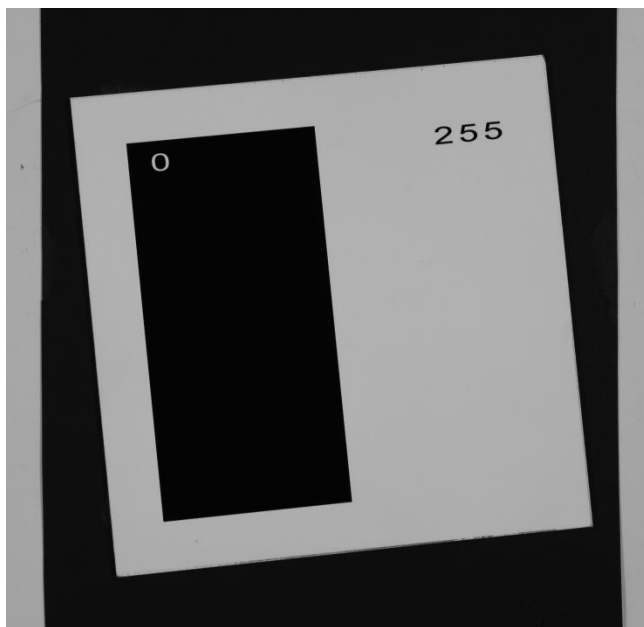


Figura 35. Test del borde inclinado. Fuente propia.

La cámara Canon EOS 550D permite hacer fotos en dos formatos, RAW y JPG, en cambio la Samsung ofrece un formato, JPG. Entonces, procesaremos tres tipos de fotos correspondientes a los formatos disponibles.

Para facilitar el proceso y poder comparar los resultados, los archivos procesados pasan en el formato de blanco y negro.

La primera serie de archivos es:

IMG\_7003\_g.tif ( $f' = 18$  mm;  $N=11$ )

IMG\_7004\_g.tif ( $f' = 24$  mm;  $N=11$ )

IMG\_7005\_g.tif ( $f' = 34$  mm;  $N=11$ )

IMG\_7006\_g.tif ( $f' = 55$  mm;  $N=11$ )

Son archivos obtenidos a partir del formato RAW que solo corresponde a la cámara Canon.

La segunda serie de archivos a procesar es la siguiente:

IMG\_7003\_g.jpg ( $f' = 18$  mm;  $N=11$ )

IMG\_7004\_g.jpg ( $f' = 24$  mm;  $N=11$ )

IMG\_7005\_g.jpg ( $f' = 34$  mm;  $N=11$ )

IMG\_7006\_g.jpg ( $f' = 55$  mm;  $N=11$ )

20160122\_113904.jpg

Dichos archivos corresponde al formato JPG de ambas cámaras.

Las curvas de MTF obtenidas se encuentran en el anexo 9.2.



La grafica ESF representa el borde o transición entre la zona negra y blanca. La parte inferior corresponde a la zona negra y la parte superior la zona blanca. La pendiente es la zona de paso entre un área y el otro, cuanto más definida esta, mas contraste hay en el borde.

La curva MTF tiene la forma S poco pronunciada, demuestra cómo se reduce el contraste a medida que se decrece la respuesta espacial.

## **6. VALORACIÓN, PROS Y CONTRAS**

El diseño de las dos cámaras es totalmente distinto, la cámara réflex es una cámara de foto, con una posibilidad de grabación y reproducción de video. La cámara del teléfono móvil físicamente forma parte de un Smartphone y es una de las muchas opciones de ese dispositivo. Permite realizar las mismas tareas que la cámara réflex y no ocupa espacio adicional. El usuario puede llevarla en el bolsillo y utilizar en cualquier momento. La réflex tiene dimensiones y peso significativo, no puede estar siempre a mano. Una sesión con una cámara réflex se planifica y se organiza con antelación. En cambio, la cámara del móvil es accesible y se abre con el movimiento de un dedo. Otra diferencia, es que realizando una foto con la cámara réflex el fotógrafo observa el objeto tal como lo ve sin la cámara (observación directa), si se usa la cámara del móvil, se observa la imagen del objeto a fotografiar en la pantalla del móvil.

Veamos la comparación de los objetivos de los dos dispositivos. La cámara Canon permite cambiar los objetivos lo que significa cambiar prestaciones de la cámara entera. Para hacer el trabajo el objetivo disponible es EFS 18-55. La variación de la distancia focal abarca el rango entre 18 y 55mm y el diafragma puede cambiar entre f/3.5 y f/5.6. La cámara del móvil tiene objetivo fijo con la óptica fija. La distancia focal única de 4,2 mm. El diafragma mantiene valor de f/2.2.

La posibilidad de cambiar la distancia focal y de diafragma da la ventaja a la cámara canon en cuanto a variar la exposición, controlar profundidad de campo, iluminación y campo angular. Por otro lado toda esa ventaja requiere espacio para poder reorganizar la posición de lentes, la cámara se hace más gruesa y de mayor peso. La óptica de la cámara móvil es fija y se encuentra dentro de la carcasa del mismo cuerpo del Smartphone. La única posibilidad de hacer la imagen más creativa es a través del software de la cámara que ofrece muchos modos de fotografiado.

La cámara Canon EOS 550D tiene el zoom óptico el cual necesita muchos elementos (lentes) para lograr buena calidad de imagen a diferentes focales. La cámara Galaxy S4 presenta una estructura mucho más integrada y simple debido a la tendencia de móviles a ser más delgados.

La cámara Samsung utiliza el zoom digital, una aplicación del móvil que permite agrandar imagen sin mover lentes del objetivo. Aunque el zoom digital de la cámara móvil no logra utilizar el zoom sin la perdida de la calidad de imagen. Algunos móviles poseen cámaras de mayor resolución que permite usar el zoom digital sin pérdida de calidad mediante la técnica de sobre-muestreo, en el que una pluralidad de píxeles se combinan para formar uno. Por lo tanto, el nivel de detalle de las imágenes es mejorado y reduce significativamente el ruido digital.

El número de diafragma determina la cantidad de luz que llega al sensor a través del objetivo. Cambiando el número de diafragma se puede controlar la cantidad de luz entrante. Esta posibilidad existe en la cámara Canon, mientras la de Samsung tiene la apertura fija de f/2.2. Para compensar la luminosidad del objetivo al hacer fotos en situaciones en las que la luz

ambiental es intensa, Samsung ha dotado al teléfono una velocidad mayor de obturación., llegando hasta 1/10000 seg.

Pero la principal diferencia entre la cámara del móvil y la réflex es el tamaño de sus sensores de imagen y su resolución. El tamaño del sensor de la cámara móvil es muy pequeño, varias veces menor (4.6 veces más pequeño) que el sensor de la cámara fotográfica. Aun así, el número de píxeles del sensor no se diferencian tanto como su tamaño. Eso se explica por el tamaño de un píxel. El tamaño de un píxel de la cámara Canon es 16 veces más grande que el tamaño de un píxel de la cámara Samsung. El sensor más grande de la cámara Canon es capaz de recoger más información y producir mejores imágenes: mejor rango dinámico, menos ruido y un mejor rendimiento con poca luz que la Samsung con su sensor más pequeño.

En cuanto a ISO, Canon tiene un abanico mucho mayor de sensibilidades. Como se ha comprobado, la cámara móvil prefiere el modo automático de la ISO. Los cambios manuales provocan bandas horizontales en la imagen. Las ISO de la réflex son mas estables y funcionan en el modo manual. Además, la posibilidad de Canon realizar fotos en el formato RAW permite al fotógrafo hacer cambios de algunas características tales como el balance de blancos, saturación, exposición, contraste, etc. La cámara de Samsung permite solo en el formato JPG, lo que significa que la cámara fija las características de la imagen sin dejar realizar cambios. Por otro lado, un archivo de este formato ocupa mucho menos espacio que un archivo RAW y se puede fotografiar sin preocupación de que la memoria de la cámara o de la tarjeta se acabe después de unos pocos disparos.

Observando los valores de campo angular de ambas cámaras se ve que el objetivo de la cámara Canon con su variación de distancia focal permite obtener un campo angular menor de 50º, y comportándose como un teleobjetivo, de 50º y mayor de 50º con propiedades de un objetivo normal y gran angular. El objetivo Samsung mantiene el campo angular fijo mayor de 50º y se considera gran angular.

La distancia hiperfocal del móvil es menor que la de la SRL. La cámara de foto puede cambiar profundidad de campo, mientras que la distancia hiperfocal de la cámara móvil es fija y corta. La cámara capta toda la imagen nítida.

El menú de la Canon es muy variado, contiene muchas opciones para el modo de cámara de foto, video y reproducción de imágenes. Un profesional de fotografía estaría feliz aprovechando todas las opciones del menú, pudiendo crear fotografías a su gusto, en cambio el usuario menos curioso se perdería en la multitud de herramientas y solo usaría el modo automático. El menú de la Samsung es mucho más reducido, mantienen los mismos apartados que la réflex pero con escasas opciones a cambiar. Para facilitar el manejo de la cámara algunas opciones de la cámara están situadas en la pantalla del móvil y se puede hacer algunos cambios tales como encender/apagar flash, acceder al modo de video, elegir el modo de fotografiado etc. Todo eso hace que hacer fotos resulta más cómodo y más rápido en comparación con la réflex.

Según el modo de fotografiado, ambas cámaras ofrecen bastantes opciones. Las opciones de fotografiado de la Canon están basados en el cambio de exposición según la iluminación y objeto a fotografiar. Se dejan opciones de cambio manual de diafragma o velocidad de disparo, además hay un modo de exposición totalmente manual. Los fabricantes de la cámara móvil no han dejado opciones para hacer cambios de exposición manualmente. Se dan opciones programadas de fotografiado que van algo mas allá de la exposición. Para compensar

los fallos del modo todo automático la cámara presenta unos modos avanzados que incluyen un procesamiento de imagen por un programa que mejora sus propiedades. Una función mejora el rango dinámico de la imagen, la otra compone la visión panorámica o hace la foto animada. Todas estas opciones hacen que se hace mas fácil hacer una foto creativa y sin una formación especial ni el uso de ordenador como requiere la imagen hecha con la cámara réflex.

Las opciones de resolución son variadas en ambas cámaras. La Canon da tres opciones que van desde 4,5 Mp hasta la máxima resolución de 18 Mp. Se ve que el objetivo de la cámara es mantener la resolución lo suficientemente alta para imprimir fotos de buena calidad. La cámara Samsung deja elegir entre 5 opciones de resolución, formando imágenes desde 2,4 Mp hasta la máxima resolución de 13 Mp. La idea de crear tantos formatos consiste en que el usuario no solo puede imprimir sus fotos en una calidad aceptable sino poder subir fotos a una aplicación de internet o enviar por el correo electrónico. Para ese fin el formato de imagen más pequeño es una opción óptima.

El modo de balance de blancos se parece en ambas cámaras. Las dos tienen modo totalmente automático y opciones a elegir para cada tipo de iluminación posible. La Canon deja unas opciones más avanzadas para los usuarios mas aficionados como la posibilidad de personalizar y compensación de balance de blancos.

La medición de la luz es un modo que está más avanzado en la cama Canon. Aquí se puede encontrar más opciones de medición y utilizarlas para sacar mejor calidad de imágenes que las de cámara móvil.

Y hablando del enfoque de las dos cámaras, a parte del autoenfoco que pueden realizar las dos cámaras, la cámara móvil deja elegir el punto de enfoque en cualquier parte de la pantalla donde aparece la imagen. La cámara Canon proporciona 9 puntos que se puede observar en el visor y elegir entre ellos o todos. Se supone que en este punto gana la cámara móvil, que permite enfocar objetos de interés solo con una pulsación del dedo sobre la pantalla. En la cámara réflex el enfoque se realiza a través del menú correspondiente.

La pantalla del móvil es mas grande que la de Canon. Es lógico porque sirve para utilizar aplicaciones de todo el teléfono, tiene el doble de resolución en comparación con la réflex. Es una herramienta principal para el móvil y el fabricante se preocupa para sacar mejores propiedades de la pantalla en comparación con la cámara fotográfica Canon.

Las dos cámaras permiten realizar grabaciones de video. Esa opción permite utilizar solo un dispositivo para foto y video. Los dos dispositivos hacen video en formato high definition (HD). A parte se ofrecen menores resoluciones para ahorrar el espacio y hacer archivos menos voluminosos. La menor resolución posible se ofrece por la cámara móvil puesto que entre las posibilidades del móvil hay conexión a Internet y el usuario puede subir archivos justo después de realizar la grabación y sin pasar el archivo por el ordenador. La réflex no se conecta a Internet, se necesita pasar los archivos al ordenador antes de compartirlos.

Los parámetros de calidad que se han medido son el ruido y la curva MTF. Analizando las graficas señal ruido de todos los archivos se observa que la mayor relación se obtiene con la ISO 100, disminuyéndose cuando la ultima crece. Eso significa que el valor del ruido aumenta con el crecimiento de la sensibilidad ISO. En cuanto a la comparación entre la relación señal ruido de archivos JPG frente al RAW, el valor del SNR para los archivos JPG es

mayor que para los RAW. La misma tendencia se observa y para la representación en decibelios.

En la última grafica de SNR se comparan las dos cámaras con el único ISO 100 que se ha podido aprovechar en la cámara del móvil. La diferencia en SNR entre las dos cámaras es significativa. El nivel de ruido es mayor para la cámara del móvil. Eso significa que la cantidad de ruido es menor en caso de la cámara Canon, las imágenes que se hacen con esa cámara son de mayor calidad que con la del móvil. Lamentablemente no se puede hacer mas comparaciones puesto que con la cámara del móvil no se ha podido hacer imágenes de mayor ISO.

En cuanto a las curvas del test del borde inclinado, tenemos dos tipos de curvas. La grafica ESF determina el paso entre la zona negra y blanca del test. Las imágenes RAW representan el borde con la curvatura redondeada que significa el paso relativamente gradual entre blanco y negro. En caso de las imágenes JPG el borde se ve más definido, con mayor contraste que en caso de las imágenes RAW. En la zona del principio de la zona blanca se observa un pico. Este pico esta mejor pronunciado en las curvas correspondientes a las imágenes con la distancia focal pequeña. Significa que hay una zona mas blanca en el borde que el resto de blanco. Al aumentar la distancia focal esa zona disminuye, el color blanco se ve más homogéneo que el resto del test (Figura 36). La aparición de este pico en la parte blanca de la imagen se debe a que la cámara activa una máscara de enfoque cuya principal misión es aumentar el contraste en la transición negro-blanco.

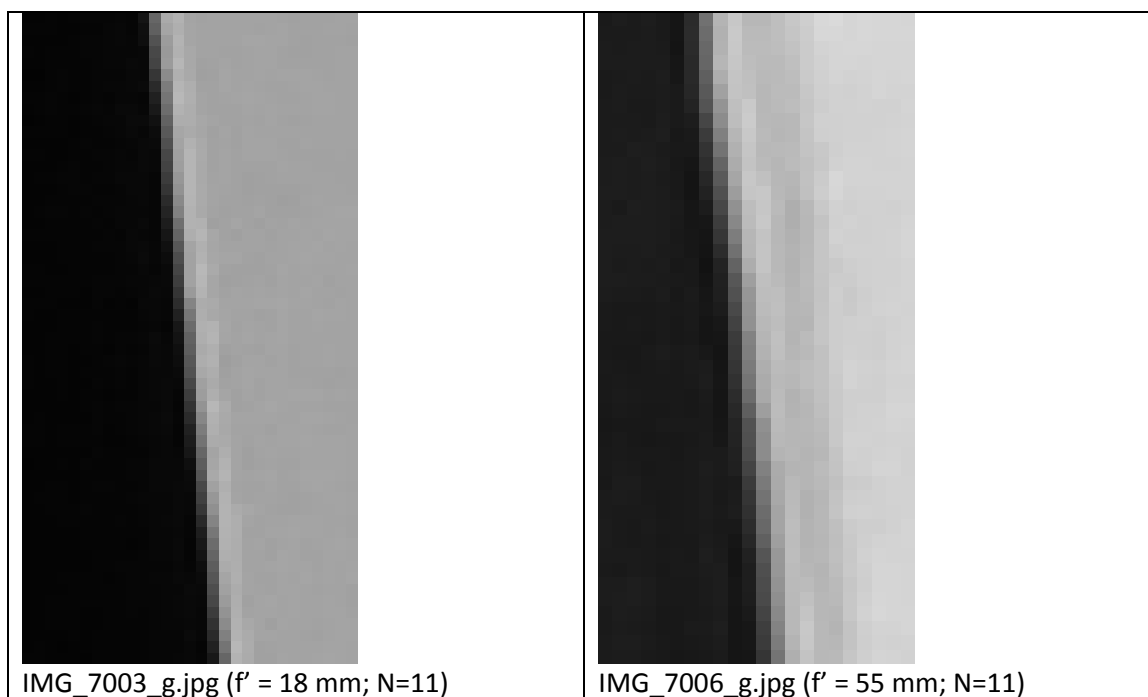


Figura 36. El test del borde inclinado hecho con Canon EOS 550D

La figura 37 representa el test del borde inclinado realizado con la cámara móvil. El pico correspondiente a la línea más blanca que separa la zona negra y blanca es mejor definido que en las imágenes hechas con la cámara Canon.

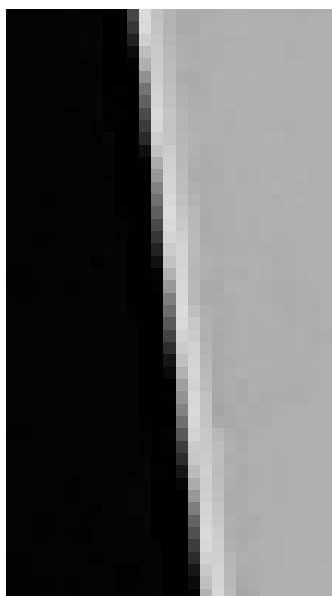


Figura 37. El test del borde inclinado hecho con Samsung Galaxy S4.

Las curvas MTF:

En el caso de la cámara Canon se observa que la frecuencia límite  $f_L$  está alrededor de la frecuencia de Nyquist calculada en 116 pl/mm. Esto significa que la resolución viene dada por la distribución espacial de los sensores de luz en la matriz del sensor en vez de la difracción del objetivo. También se observa que al aumentar la focal la gráfica de la MTF decae más rápidamente, eso significa que la calidad empeora ligeramente. Los resultados de la MTF son coherentes con la frecuencia límite del sistema.

## **7. CONCLUSIONES.**

A modo de conclusión general destacamos que existen grandes diferencias en la mayoría de parámetros medidos entre un smartphone y una cámara digital. La tendencia de las cámaras digitales es tener mejor zoom, mejor sensor, mejor objetivo y mejores procesadores de imagen; mientras la tendencia de los smartphones es ser cada vez más delgados, más pequeños y más rápidos en cuanto a procesamiento de datos; además de ofrecer una amplia gama de funciones, como tomar fotografías, grabar video, tener una grabadora de voz, etc.

Se ha comprobado que la calidad de imagen en el caso de la cámara de fotos digital es superior a la de la cámara incluida en el móvil. En el caso de la cámara digital su principal función es proporcionar al usuario la máxima calidad de fotografías y dejarle controlar el proceso ofreciendo bastantes modos y parámetros de foto manuales. La cámara del móvil no permite controlar el proceso de fotografiado ni interferir cambiando opciones de cámara. Su principal ventaja es la facilidad de manejo, su movilidad, la rapidez a la hora de disparar y la posibilidad de compartir de forma inmediata las imágenes obtenidas. Es un dispositivo multifuncional. Pero a pesar de toda la gama de funciones que ofrece el teléfono móvil es imposible que este dispositivo sustituya la calidad de imágenes de una cámara digital.

## **8. BIBLIOGRAFÍA.**

Barros J. (2015) "Aprende fotografía: círculos de confusión", from <http://rubixephoto.com/2015/10/15/aprende-fotografia-circulos-de-confusion/>

Britton B., Joinson S. "Canon EOS 550D (Rebel T2i/Kiss X4 Digital) In-depth review", from <http://www.dpreview.com/reviews/canoneos550d>

Casas A. (2007) "Curso de fotografía: 7. Tipos de objetivos", from <http://www.xatakafoto.com/curso-de-fotografia/curso-de-fotografia-7-tipos-de-objetivos>

Carbajo A. (2010) "Comprende el factor de recorte, comparación de lentes en Canon 5Dmk2 y 7D", from <http://www.xatakafoto.com/canon/comprende-el-factor-de-recorte-comparacion-de-lentes-en-canon-5dmk2-y-7d>

Carrillo de Albornoz R. (2013) "Tamaño y resolución del sensor", from <http://todo-fotografia.com/2013/tamano-y-resolucion-del-sensor/>

Carrillo de Albornoz R. (2012) "Diafragma", from <http://todo-fotografia.com/2012/el-diafragma/>

Carrillo de Albornoz R.C. (2012) "Componentes de una cámara fotográfica", from <http://todo-fotografia.com/2012/componentes-de-una-camara-fotografica/>

"CCD (sensor de imagen): píxeles y tamaño", from <http://mundodelafotografia.com/index.php/Curso-para-Avanzados/ccd-sensor-de-imagen-pixeles-y-tamano.html>

Claveria A. (2010) "EL ruido en los sensores digitales y cómo evitarlo", from <http://www.albertoclaveriafoto.com.ar/blog/?p=298>

"Distancia hiperfocal", from <http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/212-distancia-hiperfocal>

Desvarios R. (2013) "Así es la cámara del Samsung Galaxy S4 y sus nuevas funciones especiales", from <http://www.xatakamovil.com/samsung/asi-es-la-camara-del-samsung-galaxy-s4-y-sus-nuevas-funciones-especiales>

Escofet J. "La càmera fotogràfica". Apuntes de la asignatura "Óptica Geométrica y Instrumental". Facultad de Óptica y Optometría. Terrassa.

(2010) "El fotómetro en las cámaras digitales", from <http://www.albertoclaveriafoto.com.ar/blog/?p=314>

"Fotografía" (2005), from <http://www.textoscientificos.com/fotograf%C3%83%C2%ADa>

"Fotografía en colores", from <http://www.textoscientificos.com/fotografia/colores>

García O. (2009), "Círculo de confusión. Fundamentos", from <http://lucesyfotos.es/blog/204/circulo-de-confusion-fundamentos>

Garcia O. (2009) "Circulo de confusión. Cálculos", from <http://lucesyfotos.es/blog/211/circulo-de-confusion-calculos>

Garcia E., Osuna R. "Fundamentos de fotografía digital", from <http://www2.uned.es/personal/rosuna/resources/photography/ImageQuality/fundamentos.imagen.digital.pdf>

Garcia E., Osuna R. "La razón señal-ruido, el espaciado entre fotocélulas y su tamaño real", from <http://ocw.innova.uned.es/ocwuniversia/tecnologia-electronica/fundamentos-de-fotografia-digital/pdf/fundamentos.imagen.digital7.pdf>

Jimenes Trejo L.A. "Fotometro", from <http://www.fotografiapractica.com/fotometro.php>

Langford M.(2001) "La fotografía paso a paso en curso completo" España: Hermann Blume ediciones

Lavín A.D. (2012) "Aprende a evaluar un objetivo: Te contamos cómo funcionan las curvas MTF (I)", from <http://www.xatakafoto.com/guias/aprende-a-evaluar-un-objetivo-te-contamos-como-funcionan-las-curvas-mtf-i>

Lavín A.D. (2012) "Aprende a evaluar un objetivo: Analizando ejemplos de curvas MTF (II)", from <http://www.xatakafoto.com/guias/aprende-a-evaluar-un-objetivo-analizando-ejemplos-de-curvas-mtf-ii>

Liarte D. (2009) "Sensores con tecnología CCD vs. CMOS", from <http://www.xatakafoto.com/camaras/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos>

Liarte D. (2009) "El factor de recorte de tu cámara", from <http://www.xatakafoto.com/guias/el-factor-de-multiplicacion-de-tu-camara>

Lopez A., Lopez I.(2009) "Zoom óptico vs. zoom digital", from <https://antona.wordpress.com/2009/09/16/zoom-optico-vs-zoom-digital/>

Lucas J. (2013) "Que es el factor de recorte de tu sensor y cómo influye en la focal de tus objetivos", from <http://www.dzoom.org.es/que-es-el-factor-de-recorte-de-tu-sensor-y-como-influye-en-la-focal-de-tus-objetivos/>

Lucas J. (2015) "El "Metering". Aprende a medir correctamente la luz en tus fotos", from <http://www.dzoom.org.es/el-metering-aprende-a-medir-correctamente-la-luz-en-tus-fotos-ahmf31-dia18/>

Luijk G. (2007) "Qué es el rango dinamico", from <http://www.guillermoluijk.com/article/digitalp02/index.htm>

Melenchon J. "Zoom optico y zoom digital", from <http://multimedia.uoc.edu/blogs/fem/es/zoom-optico-y-zoom-digital/>

Moral A. (2013) "Apertura y profundidad de campo (IV)", from <https://aprendofotografia.wordpress.com/2013/05/14/4d-apertura-y-profundidad-de-campo/>

Ojeda J. (2011) "Relación de aspecto: Imagen Digital e Impresión", from <http://fotografiaparapincipiantes.blogspot.com.es/2011/12/relacion-de-aspecto-imagen-digital-e.html>

"Partes de una cámara y cual es su función" from <https://jazz1993.wordpress.com/9-partes-de-una-camara-y-cual-es-su-funcion/>

Peco R. (2014) "Olvidate del numero de megapíxeles: lo que importa es su tamaño", from [http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-04-14/olvidate-del-numero-de-megapixeles-lo-que-importa-es-su-tamano\\_114287/](http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-04-14/olvidate-del-numero-de-megapixeles-lo-que-importa-es-su-tamano_114287/)

Perea S. (2012) "Espacios de color AdobeRGB y sRGB ¿con cuál trabajar?", from <http://www.xatakafoto.com/tutoriales/espacios-de-color-adobergb-y-srgb-con-cual-trabajar>

Pereira J. (2011) "Interpretar las MTF", from <http://www.jpereira.net/otros/interpretar-las-curvas-mtf-modulation-transfer-function>

Pereira J. (2012) "Calculo de la MTF con ImageJ", from <http://www.jpereira.net/apuntes-breves/calculo-de-la-mtf-con-imagej>

Perez M. (2015) "La distancia hiperfocal explicada (como dios manda)", from <http://www.blogdelfotografo.com/distancia-hiperfocal/>

Platero C. "Formación de las imágenes". Apuntes de la asignatura "Visión artificial". Dpto. Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad politécnica de Madrid.

"¿Qué es la temperatura de color?", from <http://www.mucholeds.com/es/content/6-temperatura-de-color-calido-neutro-frio>

Rodriguez .JL. (2009) "Entiende (de una vez por todas) qué es la distancia hiperfocal", from <http://www.dzoom.org.es/entiende-de-una-vez-por-todas-que-es-la-distancia-hiperfocal/>

Rodriguez J.L. (2006) "Balance de blancos: Qué es y Cómo se usa", from <http://www.dzoom.org.es/el-balance-de-blancos/>

"Samsung Galaxy S4 I9500-Specifications", from <http://www.devicespecifications.com/en/model/8bb2271a>

Sanchez Sanchez P. "Relacion de aspecto en fotografía", from <http://www.elpaisajepperfecto.com/2013/08/relacion-de-aspecto-en-fotografia.html>

Tomkins M., Barnett S., Weidelich Z. (2010) "Canon Rebel T2I 550D Overview" , from <http://www.imaging-resource.com/PRODS/T2I/T2IA3.HTM>

Watson K. "The mith of DPI", from <http://www.rideau-info.com/photos/mythdpi.html>

Watson K. "What is a digital photo?", from <http://www.rideau-info.com/photos/whatis.html>

Watson K. "What is DPI?", from <http://www.rideau-info.com/photos/whatisdpi.html>



## 9. ANEXOS.

### 9.1. Relación señal ruido.

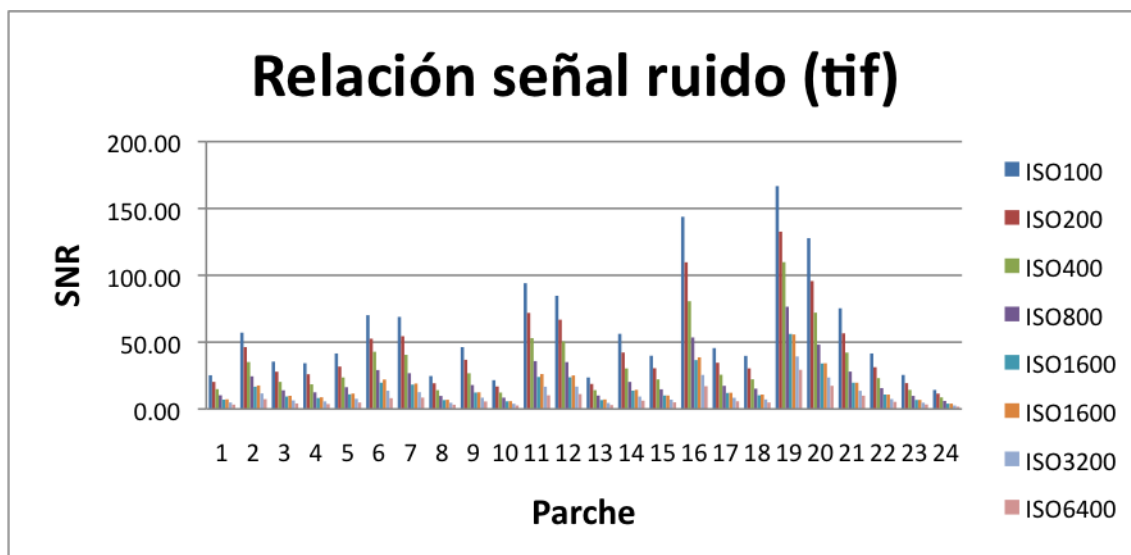


Grafico 1. Cámara Canon EOS 550D Rebel T2i. Comparación de relación señal ruido de los archivos TIF

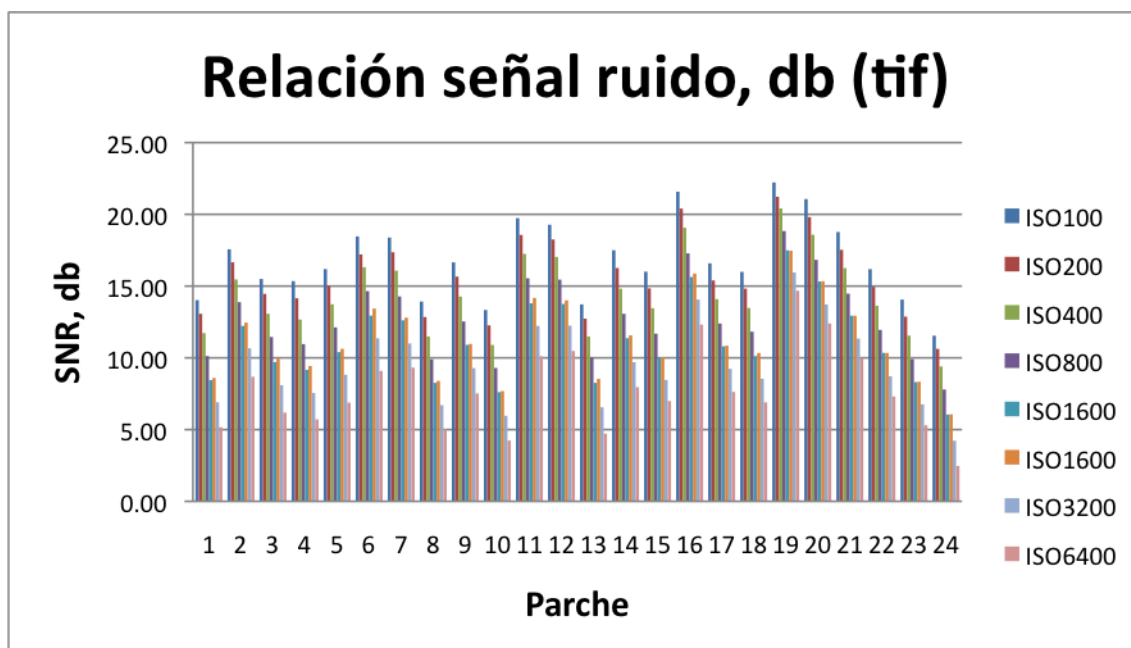


Grafico 2. Cámara Canon EOS 550D Rebel T2i. Comparación de relación señal ruido de los archivos TIF (db)

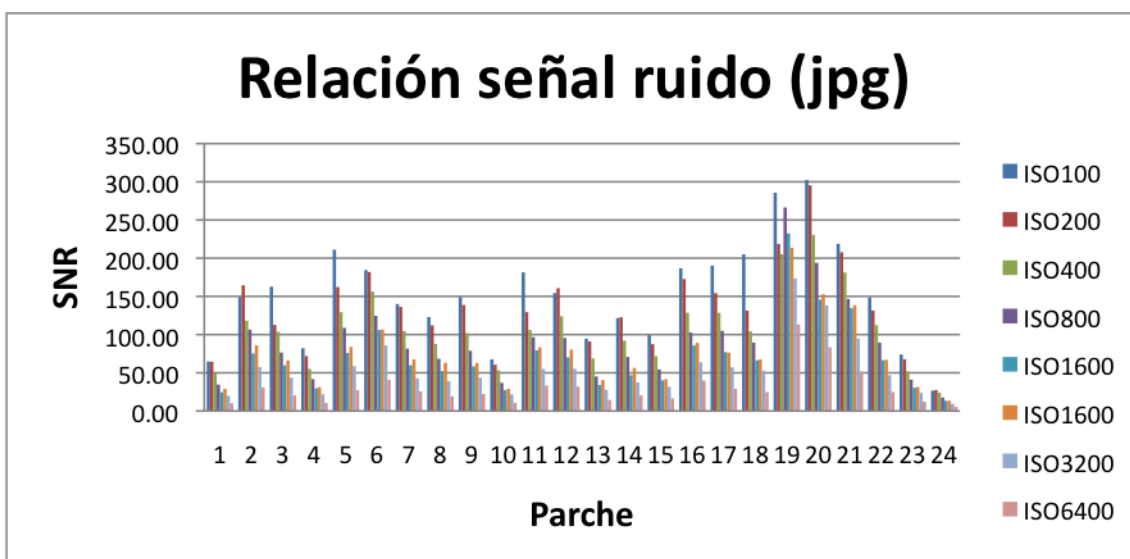


Grafico 3. Cámara Canon EOS 550D Rebel T2i. Comparación de relación señal ruido de los archivos JPG

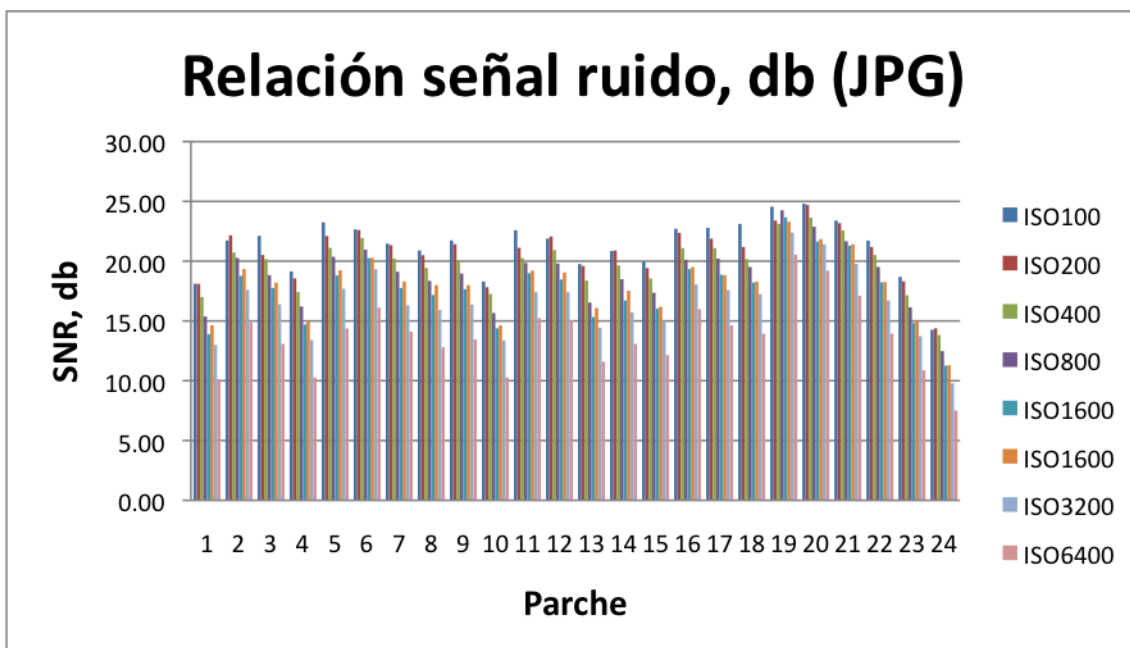


Grafico 4. Cámara Canon EOS 550D Rebel T2i. Comparación de relación señal ruido de los archivos JPG (db)

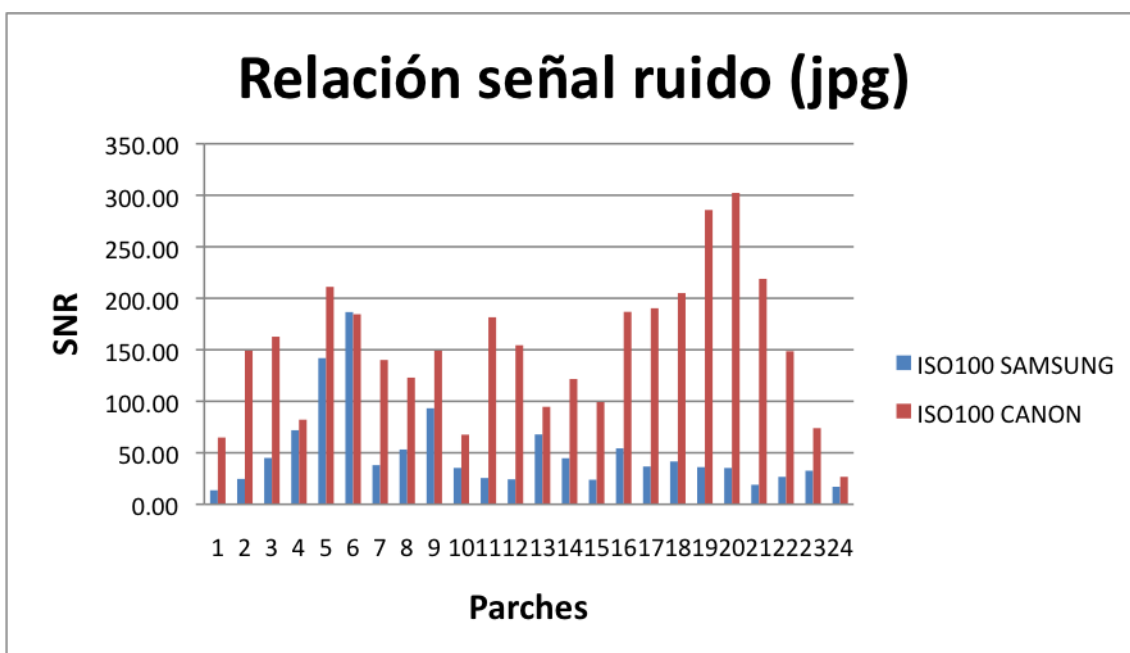


Grafico 5. Comparación de relación señal ruido de los archivos JPG de la cámara Canon EOS 550D y Samsung Galaxy S4.

## 9.2. MTF.

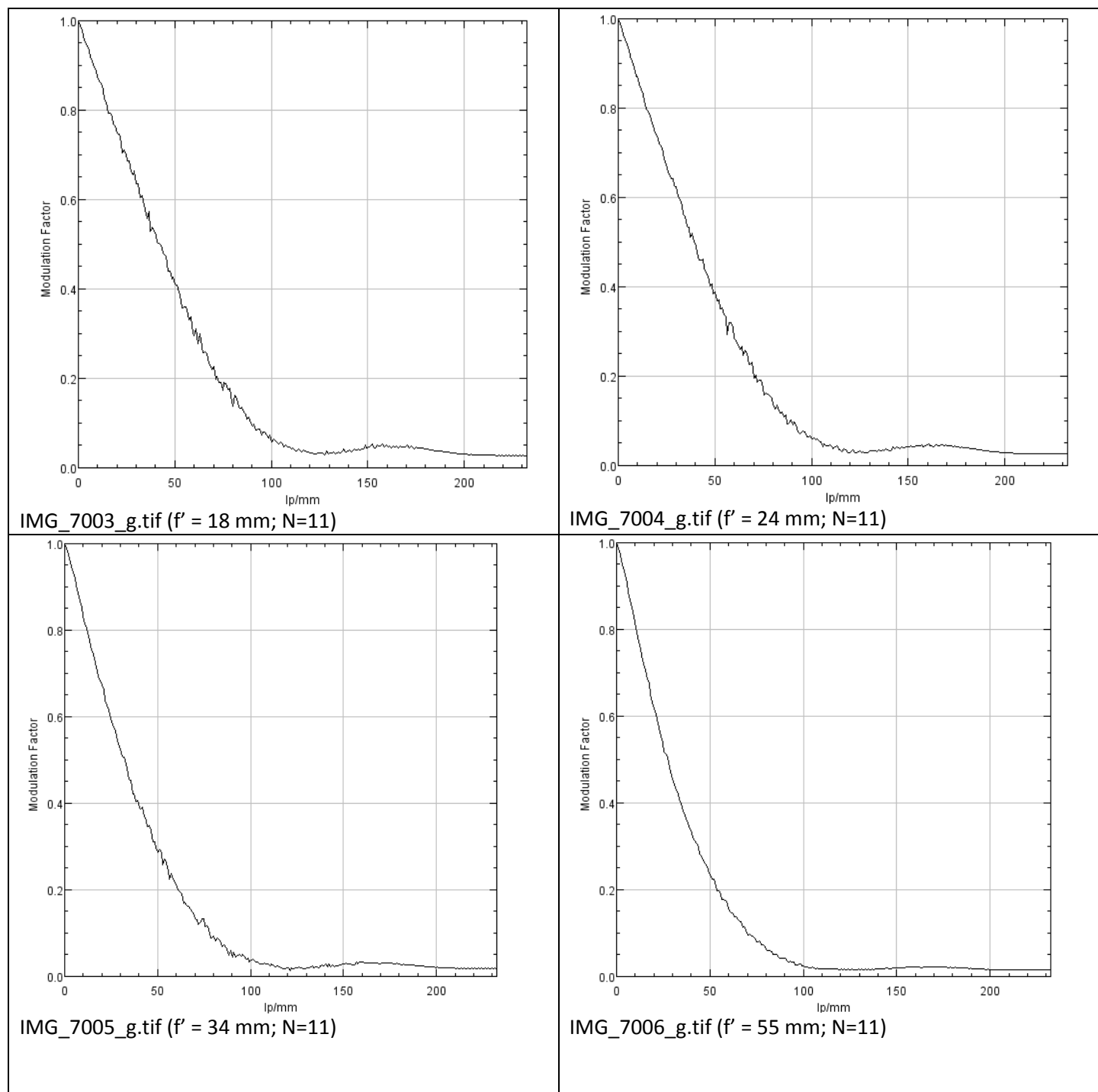


Grafico 6. Cámara Canon EOS 550D Rebel T2i. Curvas MTF de los archivos TIF.

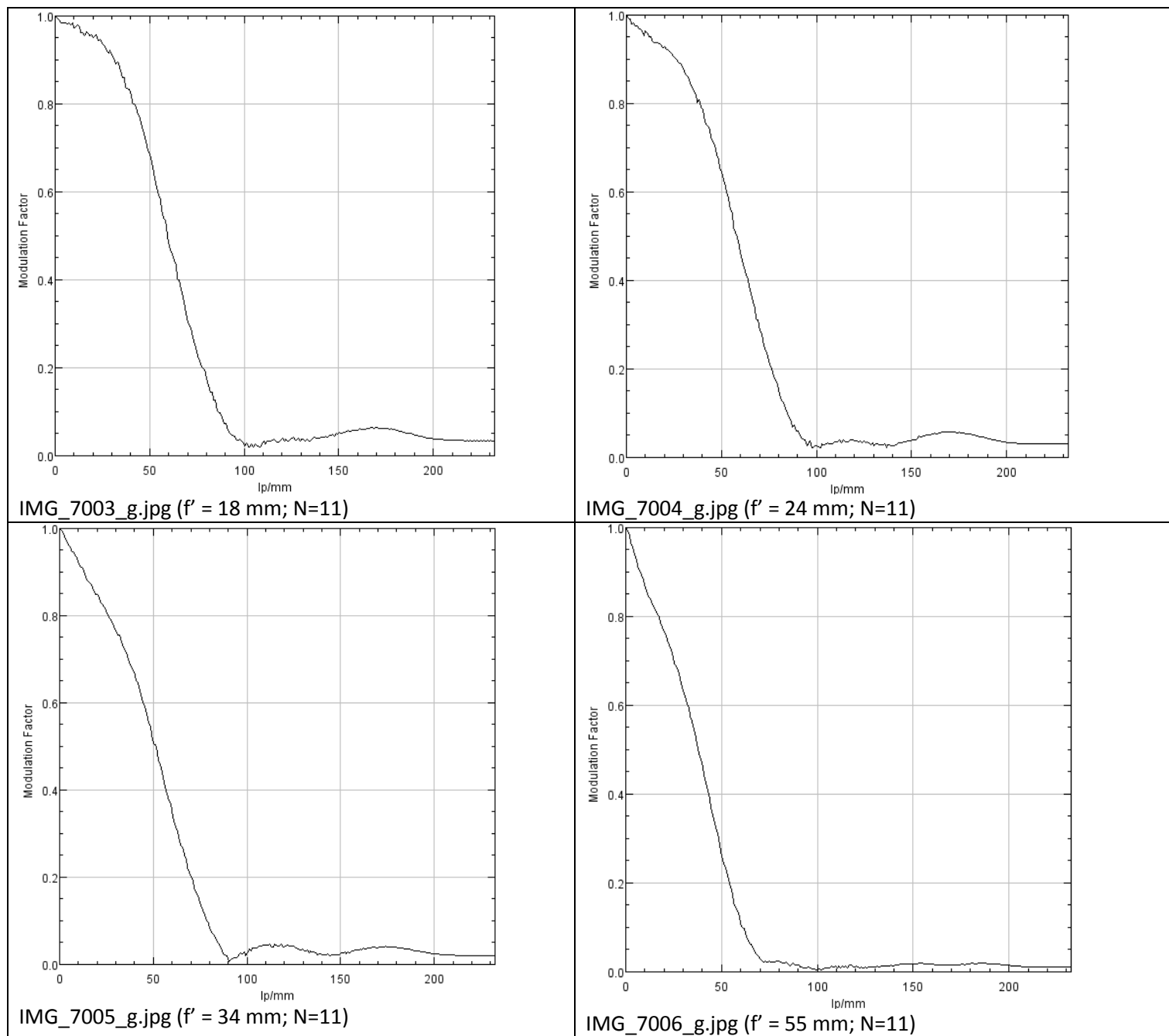
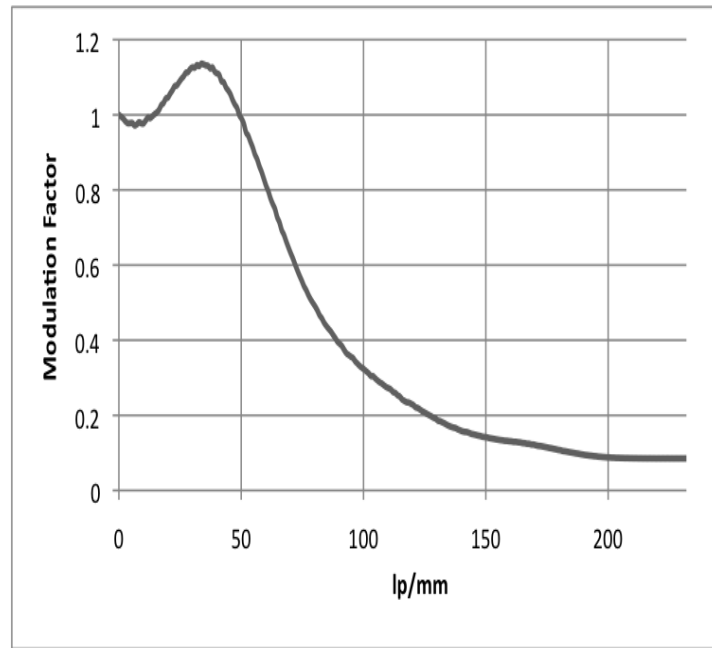


Grafico 7. Cámara Canon EOS 550D Rebel T2i. Curvas MTF de los archivos JPG.



20160122\_113904\_g.jpg

Grafico 8. Samsung Galaxy S4. Curva MTF.

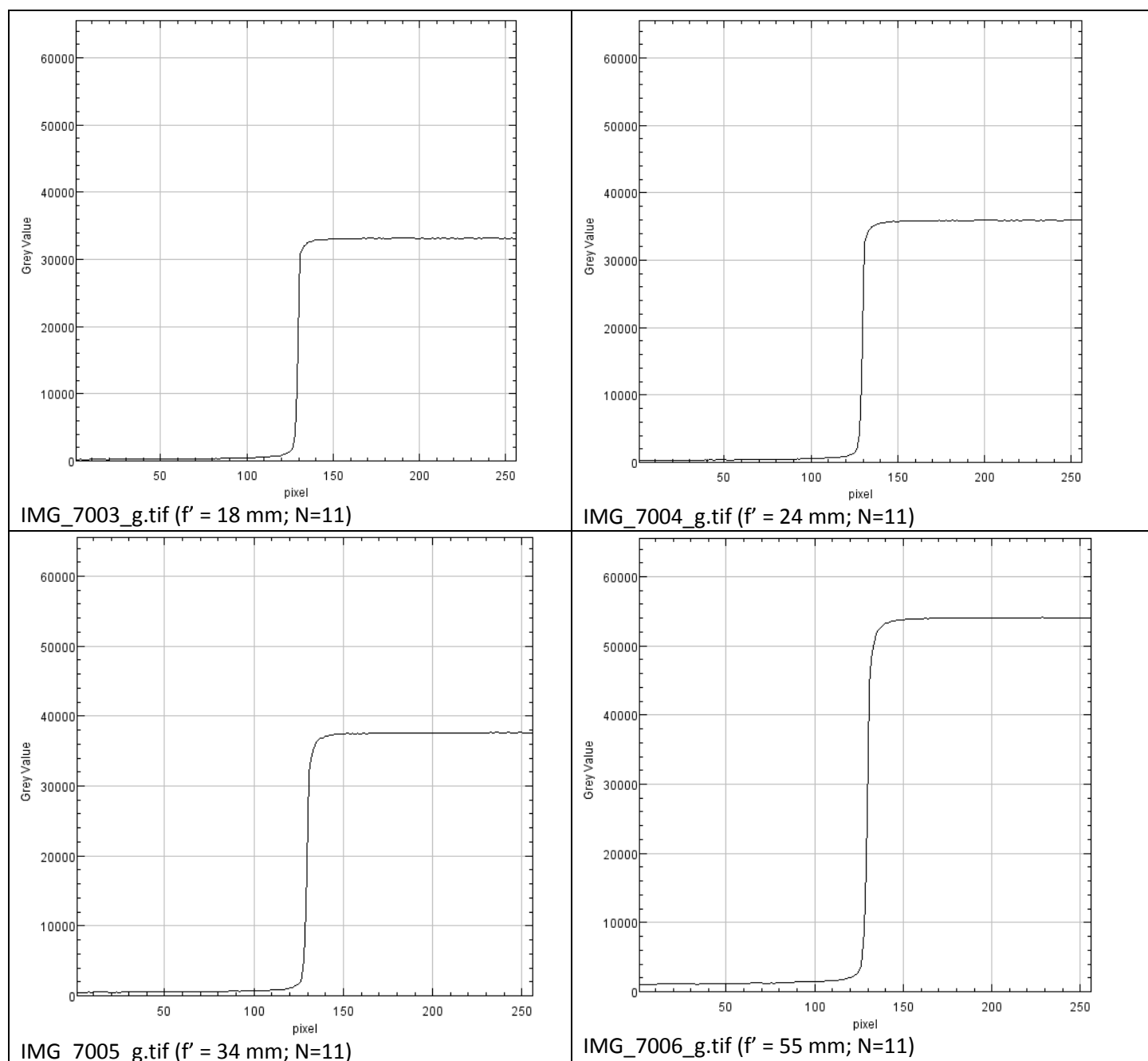


Grafico 9. Cámara Canon EOS 550D Rebel T2i. Curvas SNF de los archivos TIF.

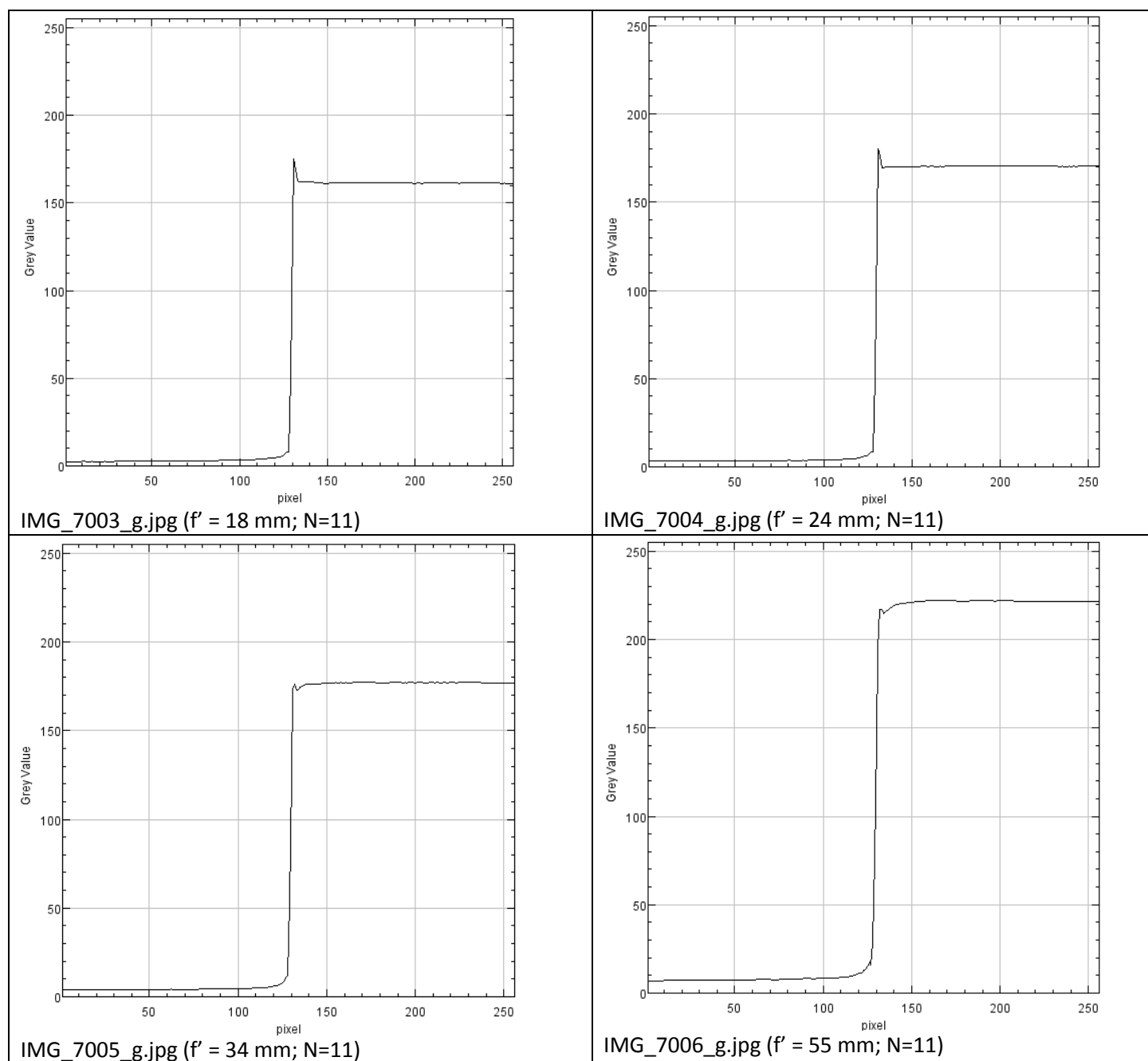


Gráfico 10. Cámara Canon EOS 550D Rebel T2i. Curvas SNF de los archivos JPG.



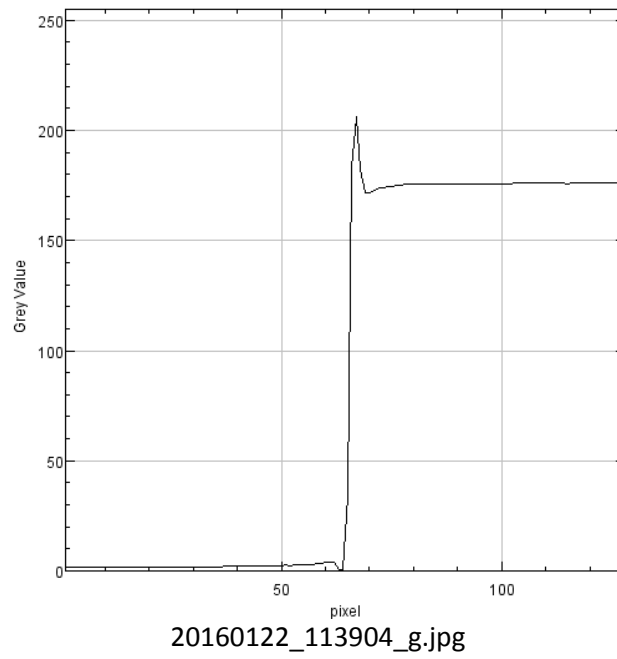


Grafico 11. Samsung Galaxy S4. Curva SNF.